



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA Y EDIFICACIÓN TRABAJO FINAL DE GRADO

ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN ELEMENTOS SINGULARES DENTRO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

Proyectista: Naya Velasco, Ricard.

Directores: Gibert Armengol, Vicenç y Royano García, Verónica.

Convocatoria: Abril 2018.

RESUMEN

El presente estudio ha venido motivado por una iniciativa de búsqueda de información y una formación autodidacta de una de las tecnologías más revolucionarias de las que se dispone actualmente, la impresión 3D. Dicha tecnología se encuentra actualmente inmersa en un proceso de madurez tras la reciente prescripción de las patentes, hecho que ha dificultado su libre mercado y libre explotación tanto por parte de empresas como por particulares dando lugar a un crecimiento a pasos agigantados

Uno de los principales objetivos más allá de conseguir una formación académica es conocer en primer lugar como sería la integración e impacto de esta tecnología en el sector de la construcción el cual lleva muchos años sin un cambio radical en su proceso productivo, la realidad es que aun a día de hoy se sigue trabajando a partir de métodos tradicionales a pesar de haberse demostrado que aun siendo efectivos siguen llevando a errores o a sobrecostes innecesarios, son un ejemplo el exceso de la dependencia de la mano de obra hecho que trae consigo la necesidad de trabajos de comprobación y solución de errores provocados por el factor humano y la generación excesiva de residuos ya que aunque el mercado cuente con un gran abanico de materiales y formatos, este sigue siendo limitado y muchas veces se debe adaptar la pieza a partir de procesos rudimentarios a las dimensiones y geometrías de la obra. Para poder lograr este objetivo se ha hecho un estudio de los cambios que esta tecnología ha supuesto en los sectores que rodean al propio y un análisis de sus posibilidades en el caso de que su uso se popularizara entre fabricantes, industriales y comercios locales.

A lo largo del trabajo se ha logrado conocer la historia de esta tecnología, a partir de qué necesidad surgió, las diferentes tipologías de impresión 3D que se pueden encontrar en el mercado viendo cómo funcionan y cuáles son sus ventajas y desventajas. Posteriormente, a partir de un trabajo práctico de montaje de una impresora 3D, concretamente la impresora BCN3D+ y con la ayuda de la Fundación CIM se ha podido conocer de primera mano la tecnología de Impresión aditiva por deposición fundida, conociendo sus elementos mecánicos y su electrónica. Finalmente, se ha podido ver como el sistema de mercado actual no se puede permitir el lujo de dudar ante decidir invertir en implantar esta tecnología en los procesos de producción que abastecen el mercado hoy en día ya que el modelo económico tanto mundial como español se encuentra estancado y necesita de un cambio motivado por una mejora en los procesos productivos. Lo mismo sucede en el sector del ladrillo donde los procesos de construcción de viviendas a pequeña escala a partir de impresión 3D a pesar de necesitar de un proceso de madurez, están llamados a substituir por completo los procesos de construcción tradicionales tal y como se conocen mientras que, en el campo de la rehabilitación esta tecnología es ya una realidad.

La mayor conclusión de este trabajo es la demostración de la necesidad de esta tecnología y llegar a afirmar que cualquier empresa tanto constructora como manufacturera dentro de cualquier sector necesita la impresión 3D en su organigrama de producción para poder seguir siendo competitiva en un mercado próximo a 10 años vista.

ÍNDICE

CAP 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Introducción al trabajo.....	1.
1.2. Justificación	1.
1.3. Objetivos Generales del trabajo	1.
1.4. Metodología de trabajo	2.

CAP 2. ANTECEDENTES.

2.1. Historia de la impresión 3D	3.
2.2. Tipologías de la impresión 3D.....	4.
2.2.1. ADDITIVAS.....	5.
- Estereolitografía (Van Photopolymerisation SLA)....	5.
- Curado en Base solida (SGC).....	7.
- Powder Bed Fusion (PBF).....	9.
- Binder Jetting (BJ)	13.
- Fuse Deposition Modelling (FDM).....	15.
- Directed Energy Deposition (DED)	17.
- Continuous Liquid Interface Production (CLIP).....	20.
2.2.2. SUSTRATIVAS.....	
- Mecanizado a alta velocidad	24.
- Fabricación laminada	27.

CAP 3. IMPRESIÓN 3D (MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA).

3.1. Impresora 3DBCN+	30.
3.1.1. MECÁNICA.....	32.
- Cabezal	32.
- Extrusor	34.
- Pantalla LCD.....	35.
- Cama caliente "HotBed"	37.
- Movimientos.....	39.
3.1.2. ELECTRÓNICA	45.
- Alimentación.....	45.
- Control de la impresora "centro neurálgico"	46.
- Control motores NEMA 17.	47.
- Control del extrusor	48.
- Control de la Hot bed.	50.
- Control de los ventiladores.....	52.
- Control de la pantalla LCD..	53.
3.2. Reportaje fotográfico del montaje de la BCN3D+.. .	54.

CAP 4. REPERCUSIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL MERCADO ACTUAL.

4.1. Economía y producción, un mercado en decadencia	55.
4.2. La impresión 3D, un nuevo modelo de mercado.....	59.
4.3. La impresión 3D dentro del sector de la construcción	63.
- Obra civil.....	63.
- Obra nueva	64.
- Rehabilitación	71.
4.4. Flujo de trabajo.....	74.
4.5. Proceso práctico de la impresión 3D	76.

CAP 5. CONCLUSIONES.

5.1. Conclusiones finales del trabajo	82.
5.2. Bibliografía	84.
5.3. Agradecimientos.....	86.

CAP 1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN AL TRABAJO

Este trabajo de final de grado pretende profundizar y estudiar el impacto de la aplicación de las tecnologías de impresión 3D en el sistema de mercado actual. Se pretende abarcar un amplio espectro enfocado en el conocimiento de las impresiones 3D y la oportunidad que, en un futuro inmediato, pueden ofrecer a las empresas del sector de la construcción. Para ello es preciso ver en qué consiste esta tecnología, de qué se compone, cómo se utiliza y posteriormente evaluar sus ventajas y limitaciones.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se parte de una inquietud o motivación personal por el estudio y la formación autodidacta sobre una de las tecnologías latentes más innovadoras y con más futuro del mercado actual, capaz de revolucionar el mercado dentro del ámbito de la construcción tal y como hoy se entiende.

Por otro lado, siguiendo el lema de “renovarse o morir”, se pretende profundizar y ver cuán lejos se encuentra el mercado de llegar a disponer con plena normalidad de modelos constructivos, piezas o herramientas, es decir, productos. Todo ello con la finalidad de poder demostrar una mejora o una alternativa a los procesos de fabricación convencionales que sostenga la necesidad de la incorporación de esta tecnología de una forma industrializada en el sector.

Al observar no tan solo el sector de la construcción sino también otros sectores y la propia evolución de las sociedades más avanzadas es fácil apreciar un cambio de era tecnológica en la que la velocidad asociada a la sostenibilidad es un hecho incuestionable. Por esta razón, se cree que el estudio de una tecnología como esta, significará un cambio radical en la forma de entender el proceso constructivo.

Por estas razones, se llega a la conclusión de que es oportuno este tipo de estudios que doten al sector de una oportunidad para llegar a ser competitivo con los que le rodean.

1.3. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICACIONES

El objetivo de este trabajo consiste principalmente en conocer de primera mano cómo funcionan estas tecnologías, ver qué variedades existen, analizar las ventajas y desventajas de cada técnica para poder ver cuál es la modalidad más adecuada para el trabajo que se desee desempeñar y finalmente conocer sus mecanismos y elementos internos. Ello permitirá, entender en mayor grado cuáles son los pasos a seguir para poder trabajar con estas máquinas. Gracias a la fundación CIM se ha podido trabajar prácticamente a diario con una de sus impresoras 3D, en concreto con la BCN3D+ una impresora que trabaja por deposición fundida. Aunque se trate de una máquina que permite hacer trabajos a pequeña escala y a un nivel usuario, ha hecho posible lograr entender los mecanismos de este tipo de tecnología. Posteriormente, una vez interiorizada toda esta información, se ha buscado poder introducir esta tecnología en el mercado del día a día ya que si se logra conseguir solucionar problemas con una máquina de gama básica se demostrará que cuanto mayores sean los recursos,

mayores serán las aplicaciones y el impacto de esta tecnología, entendiendo que sigue un proceso de crecimiento que esta fuera de todo alcance o visión.

Por tanto, sabiendo que las grandes empresas trabajan con plantas de trabajo en las que se trabaja prácticamente las 24 horas del día, se ha querido ver si realmente hay una necesidad real para cambiar el proceso productivo y ver lo que podría suponer la entrada de esta tecnología tanto en el sector de la construcción como al resto de sectores manufactureros.

1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para lograr los objetivos marcados en este trabajo se han seguido una serie de pautas o procesos los cuales han sido necesarios para llegar a donde nos encontramos hoy en día.

Antes de empezar a hablar sobre las aplicaciones de la impresión 3D, de cómo su aplicación en el mercado significará un cambio radical de la percepción que se tiene sobre la distribución tanto a escala local como internacional o de cómo su aplicación significará un cambio en la gestión de residuos y la práctica desaparición del concepto de merma, se debe conocer su historia, quién fue el responsable, dónde apareció y cuándo. Se explicarán las diferentes tipologías de impresión 3D que existen, diferenciando entre los dos grandes campos existentes, la impresión aditiva, basada en el aporte de material y la sustractiva, basada en la retirada del mismo. También se analizarán las ventajas y desventajas de estos sistemas, sus características técnicas, con qué materiales son compatibles y finalmente, cuáles son sus aplicaciones dentro del mercado.

Una vez hecha esta introducción, se profundizará dentro del modelado por deposición fundida, el sistema en el que actualmente más se está trabajando y desarrollando dentro del campo del modelado aditivo. La finalidad será ver cómo trabajan estas máquinas, de qué piezas se componen, con qué tipo de tecnologías son compatibles. Es decir, entenderlas desde su parte más diminuta para después saber hasta dónde se puede llegar con ellas.

Cabe señalar que durante la elaboración del presente proyecto se ha llevado a cabo el montaje de una máquina de impresión 3D desde el inicio, concretamente la BCN3D+ una máquina de modelado por deposición fundida. Todo esto, bajo la tutela de la FUNDACIÓ CIM, entidad adscrita a la Universidad Politècnica de Catalunya, la cual tiene como misión institucional transferir conocimientos de ingeniería y gestión de la tecnología a las empresas y profesionales que buscan ampliar las posibilidades de la industria en el territorio a través de la creación, mejora y promoción de sus productos y procesos de fabricación.

Posteriormente de haber conocido cómo funciona una impresora 3D, para poder llegar a los objetivos más significativos del presente trabajo, se ha analizado cuál es la situación económica a escala mundial para ver si realmente es necesario un cambio o la introducción en el mercado de una tecnología en desarrollo, para lograr comprender esta situación se han consultado datos del banco mundial como son el "GDP Growth" y el "PIB" en España, valores que reflejan el crecimiento económico y de los que se pueden extraer datos de producción. Una vez analizada la situación económica relacionada con la producción, se ha decidido comparar la situación de un país que realiza políticas de inversión en I+D en el trabajo y en los sistemas de producción como es el caso de Alemania, con otro que no las ha llevado a cabo como es el caso de España.

Una vez vista la necesidad de este tipo de máquinas y de cómo sería el cambio en el sistema productivo se ha analizado cómo sería este cambio a escala global, tanto económicamente como organizativamente, finalmente, como repercutiría en el sector de la construcción tanto en obra nueva como en rehabilitación.

CAP 2. ANTECEDENTES

2.1. HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D (CHARLES W. HULL)

Antes de hablar sobre la impresión 3D y de sus variantes se debe conocer de dónde, cómo, cuándo y quien inició o presentó esta tecnología al mundo. Para esto se debe mencionar a Charles W. Hull. Nació el 12 de mayo de 1939 en Clifton (Colorado). Se graduó en ingeniería por la universidad de Colorado en 1961. Actualmente, como cofundador, vicepresidente ejecutivo y director de tecnología de 3D Systems es responsable de más de 60 patentes en EEUU sobre todo dentro del marco del prototipado rápido y de la óptica del ion. Charles. W. Hull es relevante en este trabajo ya que fue el inventor del proceso de prototipado rápido dando a conocer al mundo la "Stereolithography (SLA)" como primer modelo de impresión 3D en 1986 y consigo el formato de archivo "STL" a nivel mundial.

Charles W. Hull a principios de la década de los 80 ejercía como ingeniero en una empresa realizando objetos plásticos a partir de moldes, este recurría a la utilización de resinas reactivas a los rayos ultravioleta para endurecer las superficies de los prototipos creados. Charles, se propuso mejorar el tedioso proceso de creación de pequeñas piezas de plástico para el prototipado de nuevos diseños. Se dio cuenta de que, si podía superponer miles de capas laminadas una encima de otra y grabarlas con luz UV, podría formar objetos tridimensionales en casi cualquier forma concebible. Así fue como Charles Hull inventó hace más de 30 años en su garaje de Colorado esta nueva tecnología la que sólo un año después de haber visto luz solicitó la primera patente por su invención, un dispositivo que podía realizar en cuestión de horas lo que normalmente llevaba varias semanas de moldeo y colado. En ese entonces se dio la bienvenida a la Estereolitografía.

Después, en 1986 creó la empresa "3D Systems" y otros le siguieron, fueron un claro ejemplo las empresas japonesas "NTT" y "Sony/D-MEC", que comenzaron a comercializar sus versiones de máquinas de Estereolitografía en 1988 y 1989 respectivamente y posteriormente "Electro Optical Systems – EOS" en Alemania, quien comenzó a comercializar el sistema conocido como "Stereos". Otras no obstante no tuvieron la suerte de prosperar, son un ejemplo compañías como "Light Sculpting" (EE.UU.), "Sparx AB" (Suecia) y "Láser 3D" (Francia) las que a pesar de no haber encontrado un camino exitoso desarrollaron e implementaron sistemas de prototipado. Es decir, se podría afirmar que a finales de los años 80 el prototipado rápido o (Rapid Prototyping) ya era una realidad comercial. Es cuando en el 1990 se comienza a aplicar la fabricación aditiva para obtener patrones de fundido (Rapid Casting), en el 1995 para obtener herramientas de producción como moldes de inyección (Rapid Tooling) y en el 2000 para obtener piezas de producción (Rapid Manufacturing).

La tecnología de la impresión 3D ha permanecido "dormida" hasta la actualidad ya que, a causa de las patentes se ha impedido una aparición clara tanto en el mercado de las universidades como en el de particulares y empresas. Pero ahora, la prescripción de las patentes ha provocado que esta

tecnología se abra paso dentro el organigrama de las grandes empresas, este hecho junto con una gran labor de marketing a dando lugar a que tanto curiosos como estudiosos en el tema de la impresión 3D quieran formar parte de la evolución de esta tecnología. Gran parte de los expertos en el tema de la impresión aseguran que el crecimiento de esta tecnología está directamente relacionado con las capacidades imaginativas de todos esos particulares quienes comparten conocimientos y diseños cada vez más innovadores. Con tal de poder entender el impacto actual, se conoce que solamente en el año 2012 se vendieron el mismo número de impresoras 3D que en todo el tiempo comprendido entre 1985 hasta 2011, es decir 45000 dispositivos.

Por lo tanto, se puede afirmar que desde ese momento en 1987 donde nace el prototipado rápido, el mundo de la impresión 3D ha ido evolucionando a pasos agigantados, desarrollando nuevos materiales, creando máquinas más potentes, surgiendo variantes de la Estereolitografía, trabajando de una forma más veloz, dando una mayor calidad y resistencia al producto. Es decir, se ha logrado que prácticamente la mayor limitación de esta tecnología este directamente relacionada con las capacidades de los propios diseñadores. Hoy se puede decir que la impresión 3D nos transforma de consumidores a creadores de nuestros propios productos.

Gracias a la aparición de nuevos materiales con mayores funcionalidades, prestaciones y la evolución de las mismas máquinas se han suprimido las grandes limitaciones que se encontraban respecto la compatibilidad material-máquina. Actualmente se puede trabajar con más de 200 materiales y van desde productos orgánicos como ceras, células, tejidos, alimentos hasta metales como el aluminio, titanio, acero inoxidable, pasando por materiales cerámicos como el grafito, zirconio.) Y polímeros como el ABS, poliamida y policarbonato incluso estas máquinas permiten combinar materiales haciendo por ejemplo un productos con unas prestaciones en una zona y con otras en otra únicamente trabajando con dos extrusores. Estos avances en dicha tecnología han provocado que se aplique la impresión 3D en nuevos ámbitos realmente insospechados y no sólo haciendo aparición, sino que también ganándose una gran relevancia. Estos campos son variados como por ejemplo la educación, impresión tridimensional, medicina reconstructiva, automovilismo, moda, aplicaciones espaciales, alimentación o construcción, entre otros.

Estos avances han permitido explotar al máximo sus capacidades (dentro de sus limitaciones actuales) logrando crear productos variados como son mecanismos complejos, baterías, transistores y tecnología LED. Esto se ve de manera práctica ya que la gran mayoría de empresas líderes en sus respectivos mercados han decidido apostar de manera clara por esta tecnología. Son un ejemplo entre sus clientes el "Departamento de Energía de los EE.UU", el "Consortio Canadiense para la Investigación y la Innovación Aeroespacial", "DuPont", "ABB", "Nike", "Ericsson", "Nokia", "Procter & Gamble", "Hewlett Packard", "Airbus", y muchos más. Según "Wohlers", la impresión 3D será una industria de 5.200 millones de dólares en 2020.

2.2. TIPOLOGÍAS DE IMPRESIÓN

Con la finalidad de poder hacer una distinción o una clasificación de toda la variedad de técnicas que se pueden encontrar en el mercado se ha recurrido a varias fuentes expertas en este campo. Un ejemplo es la Universidad de Loughborough en Reino Unido realizando estudios y ensayos de las prestaciones de las diferentes tipologías de impresión 3D. Con objetivo de lograr una distinción más

sencilla se separarán en dos grandes grupos o familias y estas serán divididas en clases, posteriormente, se analizará con qué tipo de materiales son compatibles dichas tipologías y un listado de ventajas y desventajas.

1 - **Aditivos:** Estas son las que su impresión se basa en el aporte de material. Dentro de esta familia se puede realizar la siguiente clasificación:

- Estereolitografía (Van Photopolymerisation, SLA).
- Curado en base sólida (SGC).
- Powder Bed Fusion (PBF).
- Modelado por deposición fundida "Fuse Deposition Modelling" (FDM).
- Binder Jetting (BJ).
- Deposición por energía directa "Directed Energy Deposition" (DED).
- Continuous Liquid Interface Producción (CLIP).

2- **Sustractivas:** Esta familia trabaja de distinta manera ya que en lugar de aportar material a la impresión, trabaja eliminándolo dejando el producto como único "residuo". Dentro de esta familia se puede realizar la siguiente clasificación:

- Mecanizado de alta velocidad.
- Fabricación laminada.

2.2.1. ADITIVAS

- ESTEREOLITOGRAFÍA. (Van Photopolymerisation, SLA)

Tal y como se ha comentado con anterioridad, se trata de la primera técnica de impresión 3D por parte de Charles W. Hull. Se basa en el principio de estratificación para la construcción de un modelo de diseño. La creación de un modelo a partir de esta técnica se basa en que partiendo de un tanque o contenedor lleno de resina líquida fotopolimérica, aportando una fuente de radiación lumínica se consigue una reacción de dicha resina creándose el objeto en cuestión.

Todo comienza con un contenedor lleno de resina, con una base en su interior que podría ser considerada como una plataforma de construcción, esta, está separada pocos milímetros de la superficie (grosor de la primera sección de impresión). Posteriormente, se expone esta resina a una fuente de radiación lumínica procedente de un láser de radiación ultravioleta, polimerizando la resina y dejando visible cada trazado de la sección del modelo, entonces, la base baja a la siguiente sección del modelo CAD y se vuelve a repetir el proceso hasta que el modelo este totalmente completo. Suele darse el caso de que con la finalidad de conseguir un mejor acabado o una mayor homogeneidad entre capas se pase una cuchilla o algún elemento afilado para eliminar impurezas. Por otro lado, puede ocurrir que una vez la pieza ya está acabada se aprecien fisuras o cavidades provocadas por el aire que no ha podido escapar por lo que si se quiere garantizar una resistencia optima deberán ser rellenadas con resina convenientemente.

Una vez acabado todo el proceso, el tanque de resina es drenado y retirado todo el material sobrante. Este proceso debe ser cuidadosamente realizado para evitar dañar la pieza, dañar la base o contaminar la resina ya que esta es cara y debe conservarse. Para lograr separar la pieza de la cama,

eliminar imperfecciones sobrantes o retirar la totalidad de la resina que se encuentra en el tanque se puede usar un elemento afilado o cuchilla, también es recomendable el uso de alcohol diluido en agua. Puede resultar un trabajo largo y tedioso pero se debe garantizar una correcta limpieza para futuros trabajos. Una vez retirado todo el material se drena de manera natural o utilizando una manguera de aire.

Como se ha comentado anteriormente, la intervención de grandes empresas en el mercado de la impresión 3D ha provocado que dentro de un mismo sistema aparecieran variantes. En el caso de la Estereolitografía se pueden discernir las siguientes variaciones o subsistemas.

- Sistema SLA: El desarrollado por la propia compañía 3DSystems y el más utilizado dentro de este campo.
- Stereos: De la compañía EOS (Alemania).
- SPL: Compañía Laser 3D (Francia).
- Solid creation systems : SONY (Japón).
- SOMOS Dupont: Teijin-seiki (Japón).

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: 3DSystems ProX 950.
- Área de construcción : 750mm x 550mm x 1500mm

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Alta calidad en el producto final.
- Es una de las tecnologías más “maduras” del mercado.
- Relativa alta velocidad.
- Se pueden confeccionar piezas de gran tamaño con peso máximo de hasta 450 kg.
- Permite crear elemento translucidos lo que puede ser especialmente ventajoso para determinados proyectos, o para detectar interferencias interiores en conjuntos complejos.

Desventajas

- Los materiales para llevar a cabo este sistema son caros.
- Suele necesitar de elementos estructurales o de un secado posterior para dar resistencia al conjunto.
- Limitación de materiales, escasa variedad.
- Dificultad para la retirada de material.
- Requiere de estructuras auxiliares o creadas de la propia resina para poder sujetar zonas que se destinen a estar en voladizo.

MATERIALES

- Resina UV-curable Photopolymer
- Visijetrangle (3D systems)

- Resina blanca opaca tipo ABS Especial (Esta se utiliza para realizar infiltraciones para mejorar las propiedades mecánicas de la pieza frente a elevadas temperaturas.
- Resina translúcida.

APLICACIONES

- Todos los sectores industriales u oficinas técnicas de desarrollo de producto que precisen de una pieza con un buen acabado. Sus productos destacan por su facilidad para trabajar con ellos (pintar, revestir etc.), cuentan con un gran nivel de detalle y un buen acabado superficial.

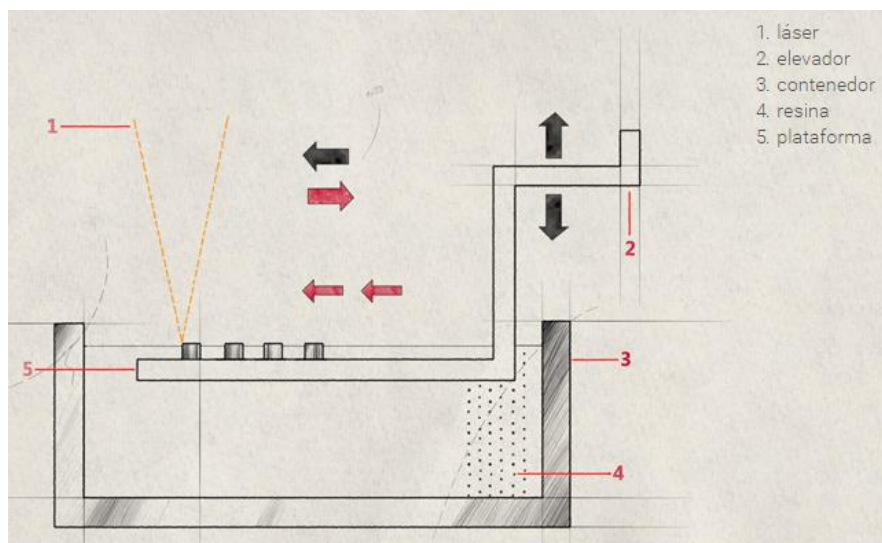


Ilustración 1: Esquema del proceso de Estereolitografía. Por Alba Sánchez ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ

- **CURADO EN BASE SÓLIDA (SGC)**

Se trata de un proceso parecido al que se ha visto en la Estereolitografía pero con dos importantes diferencias. Primeramente, en lugar de crear un modelo a partir de un láser de radiación ultravioleta que circula concentrándose en un punto en concreto y creando un relieve en el contorno del producto, se realiza mediante una exposición de radiación generalizada en la zona delimitada por las dimensiones del tanque de resina.

En este proceso, al tratarse de una exposición lumínica más generalizada, para poder formar el producto se recurre a unas láminas de vidrio en las que se graban las secciones del producto en negativo dejando al descubierto la forma del modelo y oculto el exterior, de esta manera lograr hacer reaccionar únicamente zonas específicas siguiendo el modelo CAD. Estas se crean mediante un proceso de impresión electrostática parecido a una impresora láser, posteriormente se usa una mascarilla para que el grabado quede sólido.

En el momento en el que se está creando la plantilla de impresión se expande una delgada capa de polímero reactivo a los rayos ultravioleta (del grosor de la capa a imprimir) sobre la plataforma de

trabajo, una vez esta plantilla tiene la sección grabada y se ha colocado la mascarilla se coloca encima de la base de trabajo y se enciende el proyector de rayos ultravioleta. En este momento las zonas ocultas u opacas de la placa que actúa como plantilla se quedan sin reaccionar por lo que este polímero queda en estado líquido mientras que las zonas translucidas reaccionan solidificándose. Una vez se ha impreso esa capa del modelo, la resina líquida se retira aspirándola. A continuación, la base de trabajo baja el grosor de la siguiente capa, se reparte cera líquida soluble en agua por el espacio de trabajo con tal de llenar las cavidades que antes ocupaba el polímero no reaccionado a la luz y se extiende la nueva capa de resina la cual es maquinada nivelándola y dándole el espesor correcto para repetir el proceso de nuevo

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: Este tipo de técnicas en las que se utilizan planchas con secciones grabadas han acabado evolucionando en técnicas como la "Continuous Liquid Interface Production (CLIP)" operando en dispositivos como la "Carbon 3D".
- Área de construcción: 320mm x 320mm x 600mm.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Se obtiene mayor precisión y mejores propiedades mecánicas debido a la forma de polimerización.
- Se pueden generar varias piezas de una vez.
- Rara vez se requiere soporte, gracias a la utilización de la cera.
- Las piezas generadas no presentan efecto de contracción.
- Presentan gran resistencia y alta estabilidad estructural lo que les hace ser menos frágiles.
- No se necesita proceso de post-curado.
- Es capaz de generar partes muy complicadas sin gran dificultad.
- Se puede interrumpir el proceso y borrar las capas erróneas

Desventajas

- El equipo es más caro y pesado, pudiendo llegar a los 400.000€ y las cinco toneladas.
- Conlleva mayor complejidad lo que supone tener personal cualificado supervisando el proceso en todo momento.
- En la fabricación se pueden producir virutas de cera que deben ser limpiadas de la máquina, así mismo estas partículas se pueden quedar atascadas en grietas o rincones de la pieza en fabricación.
- En el proceso de fabricación se puede llegar a generar un nivel de ruido muy superior al de otros procesos.
- Los modelos son traslucidos y quebradizos por lo que necesita un proceso de post-curado.

MATERIALES

- Los materiales utilizados son resinas fotosensibles y ceras.

APLICACIONES

- En la creación de moldes, tanto dentro del campo de la arquitectura como de la industria e ingeniería.
- Para la creación de herramientas en la industria de fundición.

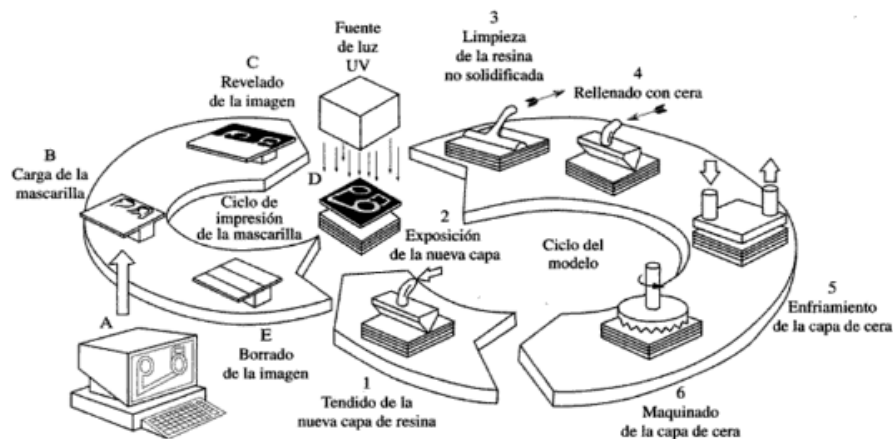


Ilustración 2: Proceso tradicional del curado en base sólida. Libro MANUFACTURA, INGENIERIA Y TECNOLOGIA. Escrito por Serope Kalpakjian, Steve R. Schmid.

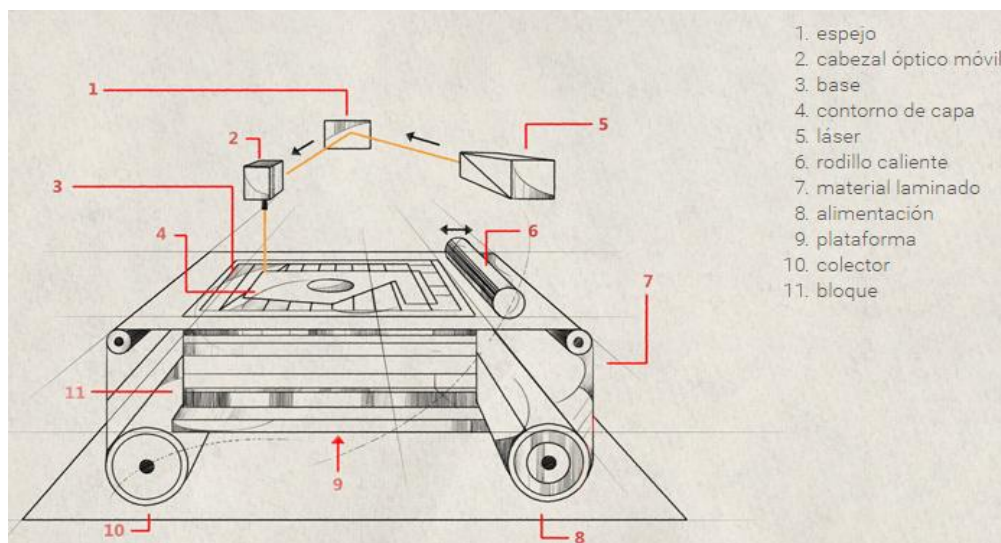


Ilustración 3: Sistema curado en base sólida. Alba Sánchez Ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ

- POWDER BED FUSION (PBF)

Este término engloba toda una serie de procesos en los que a diferencia de los comentados anteriormente se dejan de utilizar resinas o ceras y se comienza a utilizar el polvo como elemento de construcción. Dentro del término "Powder bed fusion" se puede discernir entre distintas modalidades:

"Direct metal laser sintering (DMLS)" o "Sinterización directa de metal por láser", "Electron beam melting (EBM)" o "Fusión por haz de electrones", Selective heats intering (SHS)" o "Sintetización selectiva de calor", "Selective laser melting (SLM)" o "Fusión selectiva por láser" y "Selective laser sintering (SLS)" o "Sintetización selectiva por láser".

Todos los procesos mencionados anteriormente de (PBF) funcionan con el mismo principio de fusión de las partículas polvo mediante laser o haz de electrones con el objetivo de lograr que el material polvo de una capa se una con el de la anterior para formar una figura desde la parte inferior hasta la superior. Técnicamente consiste en procesos donde un láser sintetiza el material de base en forma de polvo, capa a capa, consiguiendo que las áreas seleccionadas se fundan y solidifiquen. El objeto deseado se va creando sobre una plataforma de construcción que se encuentra dentro de una cámara a temperatura controlada (pocos grados por debajo de la temperatura de fusión del material que se desea utilizar) reduciendo de esta manera la dependencia del láser para fundir el material. La cámara se llena a menudo con nitrógeno para maximizar la oxidación y la calidad final del modelo. El material sobrante es reutilizable.

Hay procesos dentro del "Powder bed fusión" que son complejos en los que se requieren unas condiciones de vacío absoluto, pero a cambio ofrece la posibilidad de trabajar con metales y aleaciones para crear piezas funcionales, pero todos y cada uno de ellos tienen algo en común, la difusión de material polvo sobre las capas anteriores. Para lograr esto, se suele trabajar con un tanque "externo" al lado de la cama de trabajo que empuja el polvo hacia arriba justo en el momento en el que la cama de trabajo desciende un nivel. Entonces, mediante un rodillo o una cuchilla se expande una capa de polvo para generar la nueva sección.

Dentro del concepto de "Powder Bed fusion" se pueden diferenciar las siguientes modalidades:

- **SLM:** Se trata de un sistema generalmente rápido pero con un pobre rendimiento energético, este bajo rendimiento se traduce en unos gastos mayores de energía en comparación con el resto de los sistemas.
- **SHS:** El uso de un cabezal de impresión térmica y no un láser beneficia el proceso al reducir significativamente los niveles de calor y potencia requerida. Se traduce en una reducción del coste energético en comparación con el sistema SLM. En este sistema se usan polvos termoplásticos los que actúan como material de soporte para la siguiente capa.
- **DMLS:** El sistema es prácticamente idéntico al SHS excepto con la diferencia de que con este sistema se utilizan metales en lugar de plásticos termoplásticos.
- **EBM:** En lugar de la utilización de un láser para fundir el elemento polvo utiliza un haz de electrones alimentado por bobinas electromagnéticas a una presión de 10 a 5mba, puede trabajar con metales tales como el titanio lo que hace que sus aplicaciones en el mercado sean muy variadas.
- **SLS:** Se trata del sistema más conocido y utilizado dentro de los que trabajan estrictamente con polvo para crear sus modelos. El proceso es similar prácticamente al de la mayoría de los sistemas que componen el "Powder bed fusion", a grandes rasgos consiste en un haz laser que es reflejado mediante un conjunto de espejos hasta actuar sobre una plataforma de trabajo previamente calentada a una temperatura próxima a la de la fusión del polvo con el

que se desee trabajar. Sobre esta plataforma se ha extendido una fina capa de polvo que puede ser de materiales varios como son el policarbonato, nylon, abs etc. pero el más utilizado son las poliamidas. Este polvo sintetiza cuando entra en contacto con el haz creando el producto siguiendo el modelo creado por ordenador. Una vez la capa ha finalizado, la plataforma de trabajo baja un nivel, justo el grosor de la siguiente capa del modelo y el tanque de aporte de material sube el pistón interior expulsando una cierta cantidad de polvo y a partir de un rodillo o cuchilla se esparce y se nivela la nueva capa de trabajo.

En todos los sistemas dentro del campo de "PBF", si se desea lograr un aumento de la densidad del producto lo que se traduce en un aumento de resistencia y la dureza, se debe llevar a cabo un proceso de curado y posteriormente un proceso de enfriamiento. El proceso de curado puede llevarse a cabo mediante prensado isostático por ejemplo el llevado a cabo mediante una prensa sellada al vacío en la que se somete el objeto a una gran presión y temperaturas elevadas.

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: 3S Systems ProX 500.
- Área de construcción: 381mm x 330mm x 457mm.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Resistencias a temperaturas más elevadas que la esterolitografía.
- Posibilidad de añadir cargas de vidrio de hasta el 30 %.
- Dado que en estos sistemas se trabaja con materiales en estado sólido no es necesario generar columnas o elementos auxiliares para poder crear formas complejas.
- Al tener mayor resistencia, no requiere estrictamente de un proceso de post curado.
- Buena calidad de acabado final.

Desventajas

- Se necesita un proceso de tamizado para eliminar elementos de mayor tamaño los que puedan dar lugar a dificultades para la sintetización del material o defectos en la estructura interior.
- Se trata de un proceso más lento en comparación con otros procesos.
- Se requiere una gran presencia de nitrógeno para poder obtener un gran acabado final.

MATERIALES

- Nylon DMLS, SLS, SLM: Acero inoxidable, Titanio, Aluminio, Cobalto, Cromo, Acero, Cobre...

APLICACIONES

- Se utiliza en la industria aeroespacial, automoción, consumo, industrial, implantes dentales, herramientas quirúrgicas e instrumental médico.

- Normalmente su aplicación es usada como parte de producción sin herramientas, formando tanques de combustibles, tableros de control y productos que requieran certificación aeronáutica, modelos arquitectónicos, clips, soportes, grapas, ojales, etc.

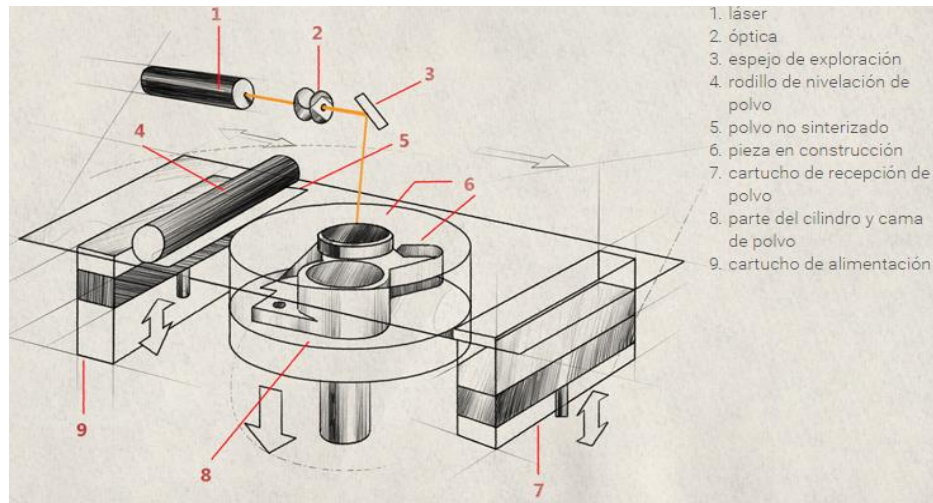


Ilustración 4: Sistema Sintetización selectiva por láser (SLS). Alba Sánchez Ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ.

Mediante la siguiente tabla se pueden apreciar las distintas modalidades de impresión que derivan dentro de la impresión por polvo (PBF).

FAMILIA	CLASE	MATERIALES	RAPIDEZ	CONSUMO	APLICACIÓN
POWDER BED FUSION	DMLS	Acero inoxidable, Titanio, Aluminio, Cobalto, Cromo, Acero.	Alta	Alto	Aplicaciones en Ingenierías, piezas aeroespaciales y medicas
	EBM	Titanio, Cobalto, Cromo, Cobre	Alta	Medio	Aplicaciones en ingeniería aeroespacial y medicas
	SHS	Nylon	Bajo	Bajo	Creación de prototipos
	SLM	Acero inoxidable, Titanio, Aluminio, Cobalto, Cromo, Acero.	Alta	Alto	Aplicaciones en ingeniería, automovilismo
	SLS	Acero inoxidable, Titanio, Aluminio, Cobalto, Cromo, Acero.	Baja	Medio	Para prototipado y aplicaciones de ingeniería.

Tabla 1: Clasificación de los sistemas de impresión en Powder Bed Fusion.

- **BINDER JETTING (BJ)**

Siguiendo con los sistemas que recurren al uso de polvo para crear sus modelos, se presenta el "Binder Jetting", esta tecnología fue inventada por el instituto tecnológico de Masachustes y posteriormente desarrollada por la empresa "Z Corporation", fue un sistema patentado en 1994 y comercializado a partir del 97'

El funcionamiento de este sistema consiste en la combinación del material de construcción que no es más que una reducción en polvo del material que se desee utilizar para el producto final, ya sea cerámica, vidrio, acero inoxidable e incluso plásticos como pueden ser los polímeros y un aglutinante que actúa como adhesivo que puede darse en estado líquido o con algún grado más de espesor.

El comienzo del proceso es idéntico al que se puede ver en los procesos de "Powder bed fusión", se parte de una cama o plataforma de construcción sobre la que se ha extendido una fina capa de material constructivo, el polvo, mediante un rodillo o una cuchilla niveladora, una vez extendida a diferencia de los procesos anteriores, mediante inyección se introduce el material aglutinante en las áreas correspondientes siguiendo el modelo CAD, actuando como nexo de unión entre las capas de polvo. Posteriormente, la cama de trabajo desciende y el pistón del tanque de polvo sube, dejando la cantidad de material justa y necesaria para poder extender una nueva capa de material, en este momento una cuchilla o un rodillo vierte y nivela una segunda capa de polvo y el proceso es repetido hasta obtener el objeto deseado. Una vez acabada la pieza, el polvo del tanque es aspirado dejando al descubierto el objeto final.

En este proceso por el hecho de tener una mezcla de dos componentes totalmente distintos no siempre es una técnica adecuada para piezas que requieran de grandes prestaciones mecánicas por esta razón, casi siempre debe llevar consigo un proceso de curado o como alternativa, para ganar tiempo se puede optar por sumergir la pieza en cera que una vez enfriada otorga un plus de robustez al conjunto. De todas formas, lleva consigo un proceso que añade tiempo a un procedimiento relativamente rápido ya que cabe destacar que es una técnica que permite modificar su velocidad de trabajo añadiendo más cabezales capaces de expulsar el aglomerante de una forma más rápida o estableciendo unas temperaturas superiores en una cámara lo que añadirá viscosidad al aglomerante.

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: Serie 400 3DP y serie 800 3DP.
- Área de construcción : la serie 400 3DP puede trabajar con piezas de 203mm x 254mm x 203mm y la 800 3DP de 500mm x 600mm x 400mm

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Buena calidad de acabado final.

- La velocidad del procedimiento se puede incrementar aumentando el número de cabezales de impresión o instalando una cámara de calentamiento la que aumentara la viscosidad del aglutinante.
- Se pueden crear objetos de distintas tonalidades ya que se puede recurrir a materiales cerámicos.
- Al trabajar con dos componentes permite regular sus proporciones, las propiedades del objeto resultante o de uno solo de los componentes, dando lugar a un sistema que puede garantizar un gran acabado estructural interno del objeto.
- Fácil de usar, el sistema de "ZCorp" es sencillo de manejar y no requiere de un técnico especializado.
- No se desperdicia material, aquél que no se imprime puede ser reutilizado en un nuevo ciclo de fabricación.
- Permite un acabado en color, capaz de trabajar con una paleta de colores de 24 bits.

Desventajas

- Genera unas piezas más débiles que las obtenidas con SLS.
- Hay cavidades en las que puede resultar muy difícil eliminar el polvo.

MATERIALES

- Los materiales más utilizados comúnmente son, polvo en base de almidón y yeso.
- También se pueden utilizar materiales como la cerámica, el vidrio o metales como es el caso del acero.

APLICACIONES

- Como la mayoría de estas tecnologías, son utilizadas en los despachos de arquitectura, en la industria y en la educación.
- Se utiliza para crear piezas conceptuales para la toma de decisiones y para la realización de pruebas como puede ser el caso de túneles de viento ya que son relativamente rápidas (piezas en plazos comprendidos entre una hora o dos) por lo que son útiles en sectores que abarcan desde la automoción hasta el sector aeroespacial.

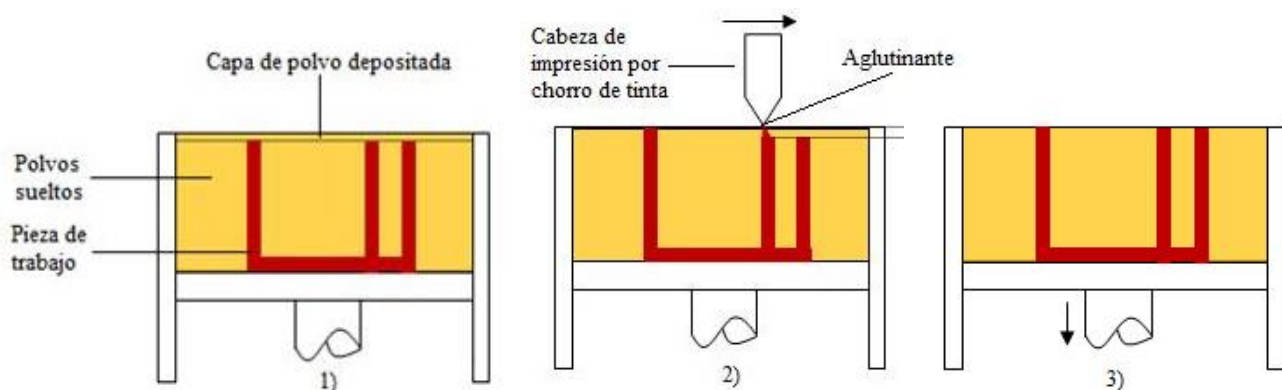


Ilustración 5: Esquema explicativo del proceso binder jetting extraído del trabajo final de máster "PROCESOS DE CONFORMADO DE MATERIALES POLIMÉRICOS POR PROTOTIPADO RÁPIDO", del alumno D. Rafael Infante Martín, correspondiente al máster "CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS. UPV

- **MODELADO POR DESPOSICIÓN FUNDIDA “FUSE DEPOSITION MODELLING (FDM)”**

El modelado por deposición fundida engloba dos conceptos comúnmente conocidos por la comunidad del modelado 3D como son el "Material Jetting" o inyección de material y por otro lado el "Material extrusion". Ambos sistemas trabajan igual, es decir, son sinónimos. Esta tecnología actualmente es la más utilizada dentro del sector del modelado 3D, justo por detrás de la Estereolitografía. Esto sucede ya que proporciona infinidad de posibilidades a la hora de crear modelos o productos, esto hace que la mayoría de empresas que quieren empezar a trabajar con la impresión 3D apuesten por este modelo de valor seguro.

El funcionamiento de este sistema consiste en un abastecimiento continuo de plástico en forma de hilo, de un grosor aproximadamente comprendido entre 1.25- 4mm procedente de una bobina ya sea incorporada en alguna parte de la máquina o exterior a ella. Este plástico va a parar a un extrusor el cual calienta este plástico hasta una temperatura cercana a su punto de fusión, aproximadamente un grado por debajo, evitando de esta forma que el plástico quede demasiado disgregado y tenga la consistencia suficiente para que no se vayan creando tramos discontinuos sino que sea una extrusión totalmente continua.

Este extrusor se encuentra montado sobre una plataforma que es capaz de moverse a través de unas guías. Estas, le proporcionan la libertad de moverse a lo largo del eje "Z" e "X", siempre claro está dentro de su rango de trabajo, de esta forma, se va depositando material sobre las capas inferiores más frías sobre una cama de trabajo que a partir de unas guías se le otorga la capacidad de moverse a lo largo del eje restante, el eje "Y", de esta manera la plataforma de trabajo va moviéndose horizontalmente mientras que el extrusor verticalmente. Se va extruyendo material siguiendo un modelo CAD y así se va generando capa a capa el modelo de pieza a fabricar.

El plástico se endurece nada más salir del cabezal de extrusión y se adhiere a la capa inferior. El único inconveniente de esta técnica es que necesita crear estructuras auxiliares para poder sustentar las zonas en voladizo de la pieza ya que no se encuentra sumergida en ningún tanque de resina por lo que ella misma debe soportar su propio peso, para solucionar este problema se extruye un segundo material de soporte que se elimina fácilmente, por ejemplo, disolviéndolo en agua. De esta forma se obtienen prototipos funcionales realizados en materiales termoplásticos, excelentes para ensayos y montajes e incluso algunos con buena resistencia ante altas temperaturas (200°C).

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: Insstek MX3, BCN3D+
- Área de construcción: 250mm x 200mm x 200mm (BCN3D+)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

- Permite trabajar con gran variedad de plásticos.
- Al trabajar con plásticos ABS, se pueden llegar a lograr unas grandes resistencias justo al acabar el proceso de modelado cercano al objeto real (proximidad del 85%).

- Se puede combinar con distintos materiales y tonalidades ya que se pueden añadir extrusores cambiando la configuración de la máquina.
- Permite realizar piezas huecas o macizas sin ningún problema, además permite seleccionar el porcentaje de macizado interior.
- Se trata de un proceso que utiliza materiales baratos, fáciles de conseguir y que no son tóxicos.
- Permite la reproducción de máquinas de su misma clase a partir de piezas fabricadas por ella misma.

Desventajas

- Exige de un proceso de preparación previo en el que se logre calibrar correctamente la máquina.
- La colocación del filamento de plástico debe ser la correcta para garantizar una extrusión continua sin cortes.
- Se tiene que llevar un control en la boquilla del extrusor ya que por una parte se debe de tener cuidado y hacer un buen calibrado para que este no rompa la cama de vidrio al bajar y por otro lado, al acabar el proceso de fabricación de la pieza se exige una limpieza de la boquilla para que no queden residuos que puedan afectar al acabado final de piezas venideras.
- La velocidad de fabricación es baja si se compara con otros procesos de modelaje 3D.
- Capaz de fabricar piezas aptas para mecanizar y resistentes para poder hacer ensayos con ellas pero a la vez ligeras.
- Dado que se trata de un material extruido, el acabado final es granular por lo que no se le puede dar un acabado totalmente liso.
- Necesita la creación de estructuras auxiliares para crear piezas complejas aunque sean de fácil eliminación.
- Puede traer consigo algún error en el producto final dada la diferencia de temperaturas que se dan en el momento en el que el plástico sale del extrusor y en el momento en el que se deposita en la cama. Este proceso de frío-calor puede dar lugar a tensiones interiores si no se encuentra correctamente regulado.

MATERIALES

- La utilización de plásticos y polímeros como son el caso del ABS, Nylon, PC, AB, PLA etc.

APLICACIONES

- Prototipos creados para conceptualización y presentación. Debido a que el prototipo creado con esta tecnología se puede pintar, lijar, perforar, se puede presentar terminado casi como el producto real.
- Prototipos para pruebas funcionales. Los creados con ABS pueden llegar a presentar un 85% de la resistencia idéntica a la del producto original, haciéndolos muy recomendables para productos de consumo.

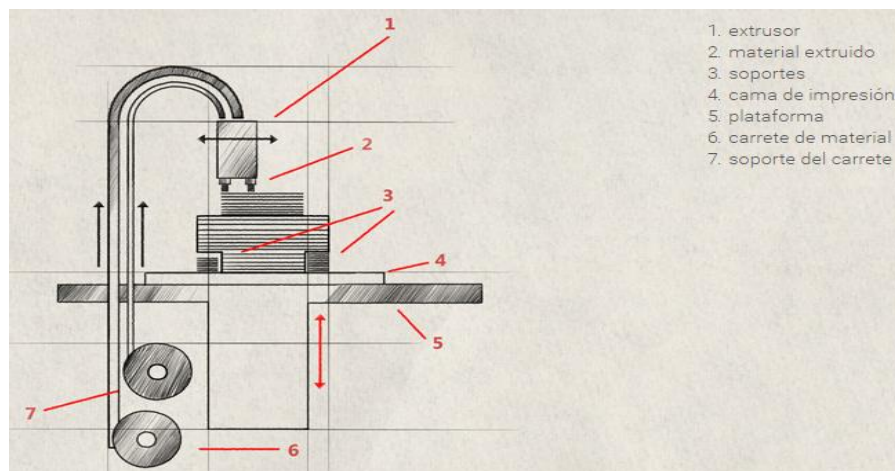


Ilustración 6 : Sistema por deposición fundida. Alba Sánchez Ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ.

- DEPOSICIÓN POR ENERGÍA DIRECTA "DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DED)"

El concepto de deposición por energía directa (DED) engloba un amplio abanico de técnicas de modelaje, son un ejemplo el "laser engineered net shaping", el "directed light fabrication" fabricación por luz directa, el "direct metal desposition" deposición directa de metal, el "3D laser cladding" revestimiento 3D laser. Se trata de procesos un tanto complejos que se utilizan para reparar o añadir material a modelos ya creados.

El sistema de deposición por energía directa, es el único modelo dentro de los sistemas de impresión 3D donde el láser o fuente de calor no es quien selecciona las zonas a derretir o a hacer reaccionar sino que el material de construcción "va a buscar" al láser. Todo consiste en un cabezal donde confluyen por una parte una fuente de calor que puede ser provocada por un haz laser o un arco eléctrico que hace fundir el material de construcción. Dicho material de construcción, puede ser suministrado en forma de polvo o alambre, todo esto, lleva consigo un acabado final distinto. Por ejemplo, si se suministra el material en forma de alambre, lo que se consigue es una mayor eficiencia del material, es decir menos mermas pero por otra parte se tendrá un peor acabado, simplemente porque el alambre ha sido un producto tratado anteriormente. Pero si se utiliza polvo, se ganará en calidad de acabado pero se desperdiciará material. Entonces, una vez el haz laser derrite la superficie del material, este, es depositado sobre una plataforma de construcción que está unida a un brazo que permite su movimiento en cualquier dirección. Puede ser así o que la cama se mueva en el eje "Y" y sea el cabezal el que vaya depositando el material en las zonas que toquen siguiendo el modelo CAD pudiéndose mover libremente por el eje "Z" y eje "X"

Un ejemplo de esta tecnología es la "Direct metal deposition": Este proceso de impresión 3D es parecido a la obtención de un producto a partir de soldadura. Tal y como se puede ver en la *ilustración número 7*, se inyecta polvo de metal a través de un conducto interior del cabezal de impresión directamente a un haz láser de alta potencia bajo condiciones atmosféricas controladas (no hace falta vacío o gases inertes). El haz láser enfocado funde la superficie del material objetivo y genera la sección de la pieza a base de material fundido. El polvo inyectado en este mismo lugar se absorbe en el baño de fusión que se ha generado al pasar la capa anterior, generando así un depósito

que puede variar con una tolerancia 0,13mm hasta 1,02mm de espesor y 1,02 a 4,06 mm de ancho. Los depósitos resultantes pueden entonces ser utilizados para construir o reparar piezas de metal con variedad de aplicaciones diferentes.

En estos procesos, se tienen que tener en cuenta varios factores con tal de evitar errores de acabados o problemas mayores. Por un lado, en muchas de las máquinas que trabajan siguiendo este sistema se crea una atmosfera de trabajo baja en oxígeno de esta forma se reduce al mínimo las posibilidades de una combustión espontánea. Por otro lado, enfocándose en aspectos referentes a la estructura de la pieza y su acabado final, se debe tener cuidado en el proceso de enfriamiento del material fundido ya que este proceso de enfriamiento afecta a la estructura granular del material depositado. Finalmente, es importante conocer la manera en la que pieza se fabrica ya que al depositar material recién fundido encima de uno que aún se está enfriando puede dar lugar a un refundido del material, creando discontinuidades o errores superficiales de la pieza.

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: Insstek MX3
- Área de construcción: 800mm x 650mm x 1000mm

MATERIALES

- Se suelen utilizar metales como Cobalto o titanio.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Es una técnica que viene muy bien para trabajar en reparaciones.
- Se puede regular la estructura del material de construcción lo que proporciona un acabado y una funcionalidad optima en reparaciones.
- La velocidad y la calidad del trabajo están muy bien equilibrados pero se puede reducir la velocidad de trabajo para poder aumentar la calidad del acabado y viceversa.

Desventajas

- Escasa variedad de materiales.
- Suele necesitar un proceso de post acabado si no se ha tenido cuidado con la forma de la pieza y se ha descuidado el caso del refundido de material.
- Aún a día de hoy no es una tecnología que haya avanzado mucho por lo que necesita un tiempo de evolución para poder hacerse un hueco en el día a día de la industria.

APLICACIONES

- Debido a que puede trabajar con metales, y aleaciones varias como el acero, es una técnica que se ha adaptado perfectamente a las necesidades de la industria en todos los aspectos, sus principales aplicaciones son en campos como la automoción o aeronáutica.

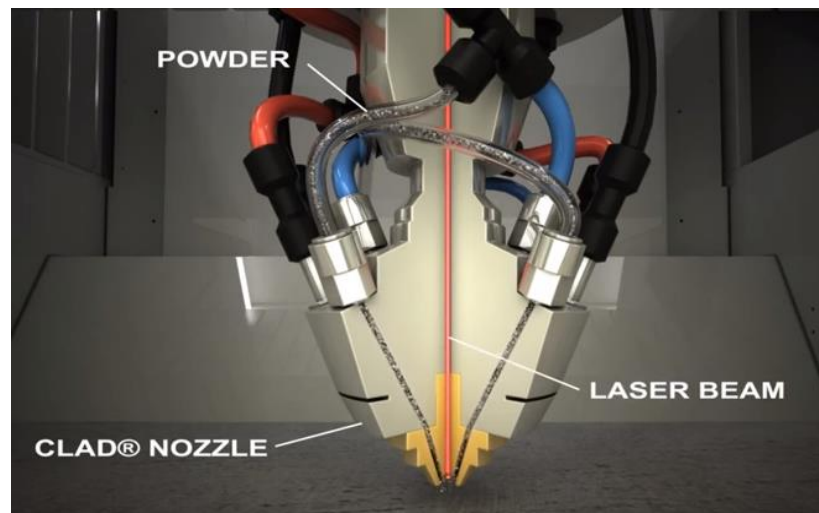


Ilustración 7: Documento de video "How does it Works- beam metal 3d printing" realizado por la empresa Be Additive manufacturing

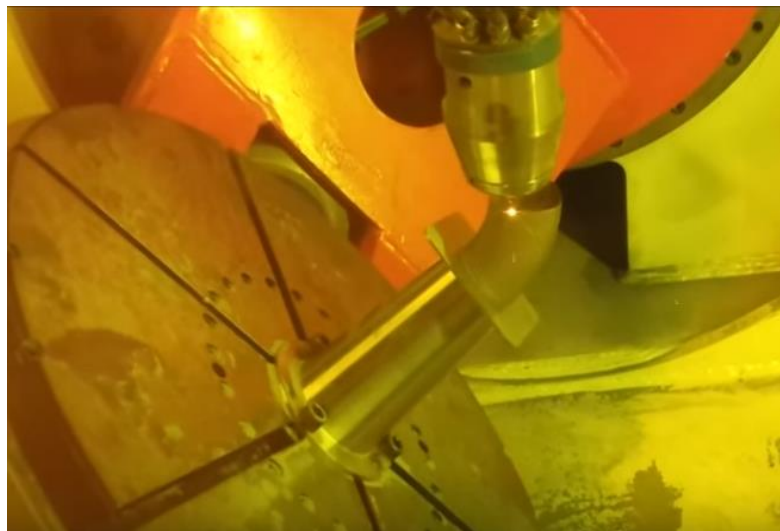


Ilustración 8: Documento de video "How does it Works- beam metal 3d printing" realizado por la empresa Be Additive manufacturing

Aunque la impresión 3D sea un cambio necesario para continuar creciendo en el futuro ya que elimina las limitaciones de los procesos de manufacturado convencionales. Con tal de conseguir que realmente sea una alternativa real debe superar dos "barreras" fundamentales.

- Tiempo de impresión, la realidad es que la impresión 3D debe mejorar sus rendimientos ya que aunque pueda desarrollar formas complejas necesita ser competente en cuanto a velocidad.
- El hecho de imprimir capa a capa y no poder generar un solo conjunto provoca una reducción de las prestaciones mecánicas de la pieza.

Con tal de salvar estas barreras, la empresa "Carbon" ha llevado a cabo un proyecto con el que mediante el uso de la química de polímeros, a partir del aprovechamiento de la luz y el oxígeno poder conseguir incrementar la velocidad de impresión y las prestaciones mecánicas de los productos, este proyecto es conocido como "CARBON 3D"

• CONTINUOUS LIQUID INTERFACE PRODUCTION (CLIP)

En los procesos de impresión 3D, el oxígeno y la luz son dos elementos que funcionan de manera distinta, mientras que la luz hace que sea posible la solidificación de un elemento líquido como ya se podía ver en procesos como la Estereolitografía y en el curado en base sólida, el oxígeno evita esta reacción, se podría determinar que estos dos son polos opuestos desde el punto de vista químico. Mediante el proceso conocido como "CLIP" o "Continuous Liquid Interface Producción" se puede controlar esta situación y en base a esto nace el proyecto llamado "CARBON 3D".

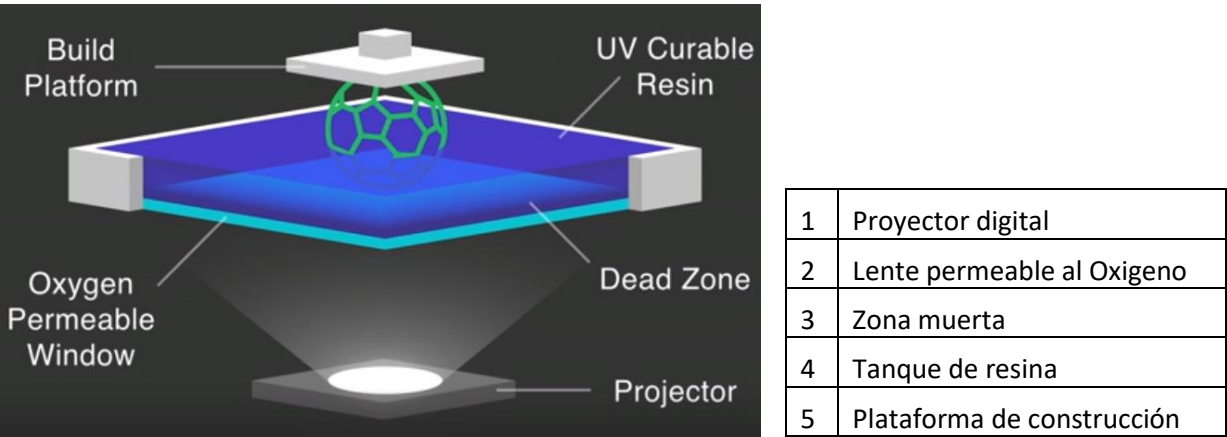


Ilustración 9: Proyecto "CARBON 3D" Continuous Liquid Interface Production. Empresa "CARBON".

Para tener una idea aproximada de lo que consiste el sistema "CLIP" se podría determinar que se trata de un avance de la tecnología de impresión mediante curado en base sólida donde en lugar de necesitar de una plantilla con zonas opacas para poder hacer solidificar zonas concretas se utiliza un proyector de luz digital con el que poder reproducir las imágenes de las secciones del producto que se desea imprimir sobre una ventana situada debajo del tanque de resina reactiva.

En este proceso de impresión nótese que la plataforma de trabajo desciende al interior del tanque de resina y se realiza un proceso de impresión de manera inversa a las técnicas conocidas hasta ahora, de esta manera se soluciona uno de los problemas de la impresión 3D convencional donde se imprimía una capa sobre la anterior, reduciendo sus prestaciones mecánicas. De esta forma el producto se va creando en el interior del tanque de resina y cuando sale, sale como un solo elemento.

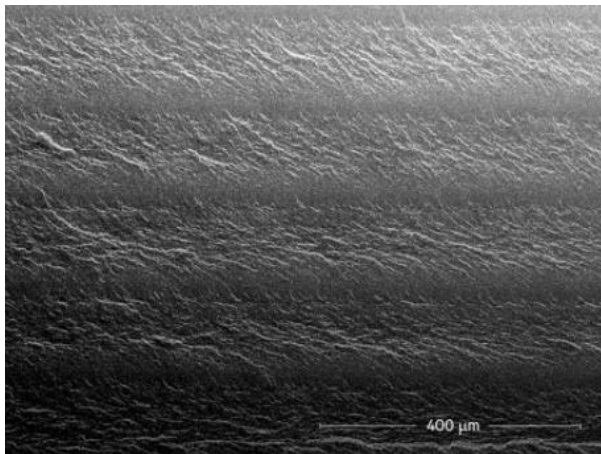


Ilustración 10: Cohesión de un producto impreso a partir de técnicas tradicionales. Empresa CARBON.

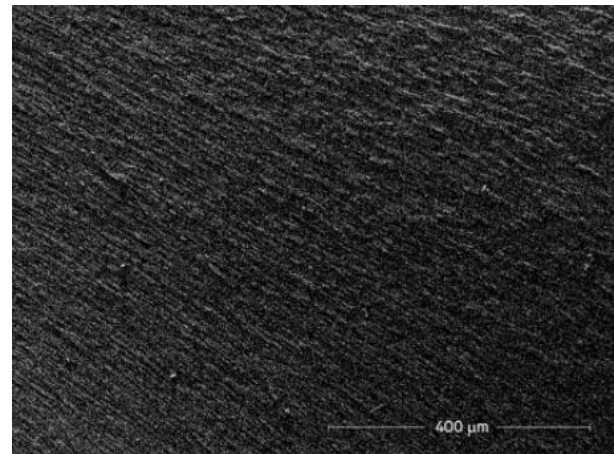


Ilustración 11: Cohesión de un producto mediante la técnica de "CLIP". Empresa CARBON.

Como se puede ver en las *ilustraciones número 10 y 11*, la cohesión entre capas mediante técnicas tradicionales y mediante el sistema "CLIP" no tienen nada que ver. El hecho de imprimir un producto sin la necesidad de tener que hacer cortes entre capas para rellenar los espacios vacíos de resina una vez se ha acabado de reproducir la anterior genera que la cohesión sea mucho mayor y por ende, sus prestaciones mecánicas. Este resultado es dado gracias al trabajo de una "ventana" que se encuentra en la parte inferior del tanque de resina, esta ventana actúa como una lente de contacto, consiste en un compuesto que no únicamente es transparente a la luz permitiendo la solidificación del producto sino que también es permeable al oxígeno. Mediante esta lente a diferencia de los procesos tradicionales donde si se hiciera descender la plataforma de trabajo en el interior del tanque de resina, si esta fuera impermeable la falta de oxígeno daría lugar a un estado de vacío en el que para continuar imprimiendo sería necesario despegar esta última capa del fondo, rellenar los espacios vacíos con resina y volver a imprimir, dando lugar de nuevo a la reducción de las prestaciones mecánicas de los modelos convencionales.

Gracias a la permeabilidad de esta ventana el oxígeno es capaz de pasar, mientras que la luz hace reaccionar a la resina, dando lugar a una "zona muerta" es decir donde no hay reacción ya que al estar sumergido en el tanque y gracias a este oxígeno se evita el estado de vacío, por tanto, se genera un estado de movimiento constante en el fondo del tanque donde la resina será la que llenará los espacios una vez la capa acaba de ser impresa y la plataforma se ha elevado el grosor de la siguiente capa, sin la necesidad de pasar cuchillas niveladoras ni extender nuevas capas lo que provocaba retrasos y evitaba la cohesión entre ellas. Esta zona muerta es del orden de algunas micras de grosor pero variando la cantidad de oxígeno, esta puede ser regulada.

Con todos estos cambios en el proceso de fabricación, el diseñador mediante el software de la impresora puede controlar gran cantidad de variables: el contenido de oxígeno, la intensidad de la luz, la dosis a curar, la viscosidad, la geometría del producto etc... Dando lugar como resultado a una impresora capaz de agilizar el proceso de obtención del producto en unas 25 - 100 veces.

Por otro lado, los resultados estructurales de los productos demuestran que las mejoras que proporciona este sistema de impresión generando una mejor cohesión, sin cortes entre sus capas internas da lugar a un producto en el que resta importancia la orientación de impresión en sus prestaciones mecánicas y se convierte en un producto que parece haber sido extraído de una cadena de extrusión.

Estos resultados se pueden ver en las *ilustraciones número 12 y 13*, donde si se compara con los sistemas tradicionales donde la orientación de las capas de la pieza determinaba sus propiedades mecánicas limitándola para cualquier trabajo donde se requiera exigencia frente esfuerzos se puede ver como mediante sistema "CLIP" todo cambia y su estructura permite trabajar de manera satisfactoria en todas direcciones y posiciones, dando un sin fin de aplicaciones en el mercado.

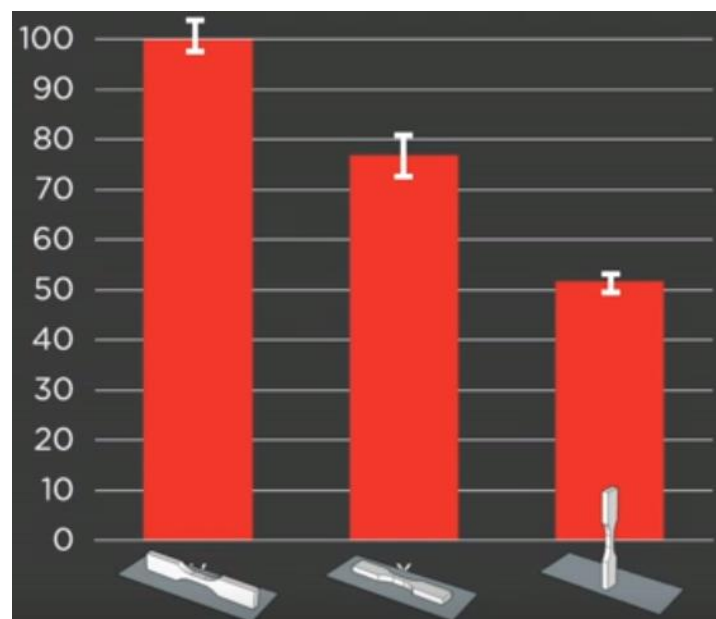


Ilustración 12: Gráfico de representación de la resistencia a tracción de los elementos impresos mediante procesos de impresión convencionales. Estudio Joseph DeSimone sobre las propiedades de los productos impresos mediante el proceso "CLIP".

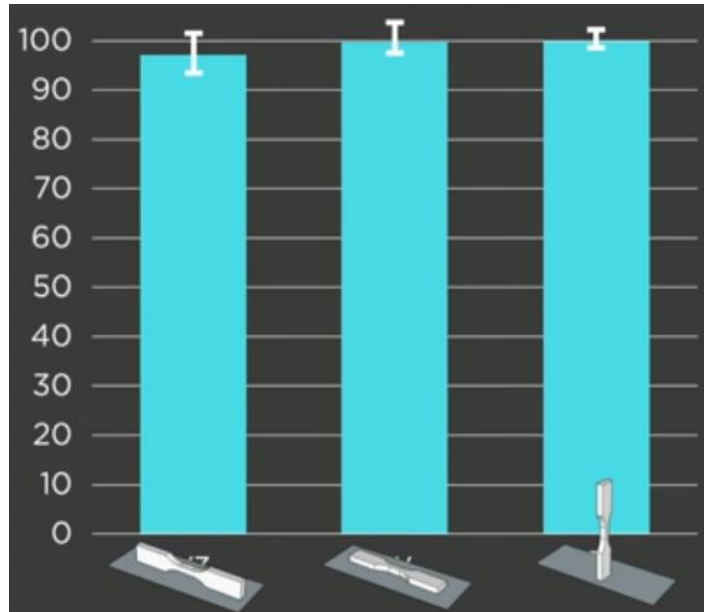


Ilustración 13: Gráfico de representación de la resistencia a tracción de los elementos impresos mediante el proceso de impresión "CLIP". Estudio Joseph DeSimone sobre las propiedades de los productos impresos mediante el proceso "CLIP".

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria : Carbon 3D
- Área de construcción: 320mm x 320mm x 600mm

MATERIALES

- Silicona, Poliuretano, tanto rígido como flexible, Epoxi, Metacrilatos.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Al tratarse de un sistema realmente enfocado en la industria, es un proceso capaz de trabajar con materiales de con los que el producto final tendrá grandes prestaciones mecánicas.
- El producto final se consigue con grandes velocidades.
- Es la técnica de impresión 3D aditiva con mayor calidad en el acabado.
- Se pueden crear modelos huecos.
- El color final de la pieza será el mismo que el del material usado.
- Es la técnica de impresión 3D aditiva con mayores prestaciones mecánicas.
- No necesita de estructuras auxiliares para hacer el diseño que se desee.

Desventajas

- Se trata de tecnologías que difícilmente puede llegar a particulares sin alto poder adquisitivo, por tanto su uso está orientado a campos comerciales y a grandes empresas.
- No puede trabajar con metales y aleaciones.

APLICACIONES

- Su uso está totalmente estandarizado, las prestaciones mecánicas que otorga, la rapidez de impresión y el acabado final le permiten aparecer en todos los campos de la industria, textil, automovilística, medica y aeroespacial.

2.2.2. SUSTRATIVAS

- MECANIZADO A ALTA VELOCIDAD

Hay cierta discrepancia en cuanto añadir las técnicas sustractivas dentro del concepto de impresión 3D ya que mucha gente en este campo entiende este término como un proceso únicamente en el que se debe añadir material y en este caso es totalmente lo contrario.

Se ha añadido al presente trabajo ya que dejando de lado el proceso, el fin es el mismo, conseguir un producto modelado en 3D. Por otro lado, son procesos que suelen combinarse con las técnicas aditivas para poder conseguir modelos de mayor calidad y con acabados más precisos.

El mecanizado a alta velocidad es un proceso de fabricación en el que se engloban las técnicas necesarias para conformar piezas mediante la retirada de material. Esto puede ser mediante viruta o abrasión a partir de productos trabajados anteriormente, como son tochos o lingotes, en definitiva es una evolución del mecanizado de piezas convencional, adaptado y equipado con las nuevas tecnologías.

Los procesos de retirada de material pueden ser de diferentes maneras, los más utilizados hoy en día son el sistema de retirada por corte, retirada de viruta por arranque o por abrasión, cada uno de ellos con sus particularidades, ventajas y desventajas. La primera técnica consiste en la retirada de material por corte, donde el material sobrante de la pieza es arrancado o cortado con una herramienta, dando lugar a un desperdicio o viruta. Este sistema, utiliza herramientas como uno o varios filos de cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada pasada. Posteriormente, el sistema de arranque de viruta se realiza siguiendo unos procesos de desgaste donde se elimina mucho material pero con poca precisión. Finalmente, el de abrasión, consiste en un proceso en el que se elimina poco material y en un tiempo prolongado en comparación con los demás pero con mucha precisión. La principal ventaja del sistema de abrasión es que permite dar un mayor acabado ya que en el resto de procesos existen limitaciones físicas tales como el no poder eliminar todo el material que se requiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan pequeño que la herramienta no penetra y no se llega a extraer viruta. Sin embargo, mediante el sistema de abrasión, donde se utiliza una mola abrasiva formada por partículas de

material abrasivo unidas por aglutinante, se puede extraer material en pequeñas cantidades rayando la superficie de la pieza, de esta manera, se necesita menos fuerza para eliminar material por lo que permite que se puedan dar pasadas mucho más precisas..

El proceso de mecanizado a alta velocidad consiste sencillamente en una modernización de los procesos de mecanizado convencionales. En este proceso, siguiendo la línea de las técnicas de impresión 3D, se siguen diseños hechos previamente por modelaje 3D en PC. Creando archivos CAD/CAM-CNC que son capaces de ser interpretados por la máquina. Gracias a esta modernización, se ha logrado incrementar las velocidades hasta 5 - 10 veces. El proceso consiste en un material de construcción que puede ser de cualquier tipo de metal colocado sobre una superficie de trabajo y sujetándolo de manera rígida para evitar movimientos que den lugar a errores en la pieza se va extrayendo la viruta. En este proceso, la cama o superficie de trabajo es la que se encarga de hacer todos los movimientos en los ejes "X" e "Y" mientras que el cabezal giratorio que perfila la pieza sube y baja. Acompañando a este cabezal, se aprecia en algunas máquinas un "brazo" o una extensión de la misma por la que sale aire a presión que limpia de impurezas y de los residuos resultantes del modelaje a la vez que enfría el cabezal. Este cabezal, está sometido a grandes presiones y temperaturas por el simple hecho de la velocidad de giro y del roce con la pieza por lo que tiene que cumplir con habilidades tales como ser suficiente duro como para resistir el desgaste y deformación pero a la vez tenaz para resistir los cortes intermitentes e inclusiones. Por otro lado, la relación química entre el material y la pieza de trabajo debe ser inerte o al menos estable para resistirlas oxidaciones. Por esta razón los cabezales más utilizados son los HSK (SK 40&50 – BT 40&50)

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: Mikron (HSM 600).
- Área de construcción: 600mm x 600mm x 500mm.

MATERIALES

Se trata de una técnica que puede trabajar con infinidad de materiales, la única limitación reside en la relación entre material de producto y elemento de corte, es decir siempre que el elemento de corte sea más tenaz que el elemento o material de construcción, se podrá trabajar con él.

- Materiales blandos (aluminio, cobre, magnesio, etc.), duros (aceros templados, titanio, níquel, etc.), A parte de poder trabajar con plásticos de todo tipo.
- Materiales de gran maleabilidad (aluminio, magnesio,...) y de poca maleabilidad (titanio, acero para herramientas, etc.).
- También este sistema trabaja con gran variedad de aleaciones.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- Al tratarse de un sistema realmente enfocado en la industria, es un proceso capaz de trabajar con materiales con los que el producto final tendrá grandes prestaciones mecánicas.
- El producto final se consigue con grandes velocidades.
- Gran calidad en el acabado.
- El color final de la pieza será el mismo que el del material usado.
- No necesita de estructuras auxiliares para hacer el diseño que deseamos.

Desventajas

- Es un sistema con el que hay que tener cautela si se va a trabajar con él ya que en este caso no se añade material sino que las herramientas son capaces de herir al trabajador si no tiene conocimientos previos o está protegido correctamente.
- Los costes de las máquinas modernas son elevados por lo que es difícil que propietarios particulares puedan trabajar con ellas en el día a día lejos de sus puestos de trabajo.
- No se pueden hacer elementos huecos en su totalidad.

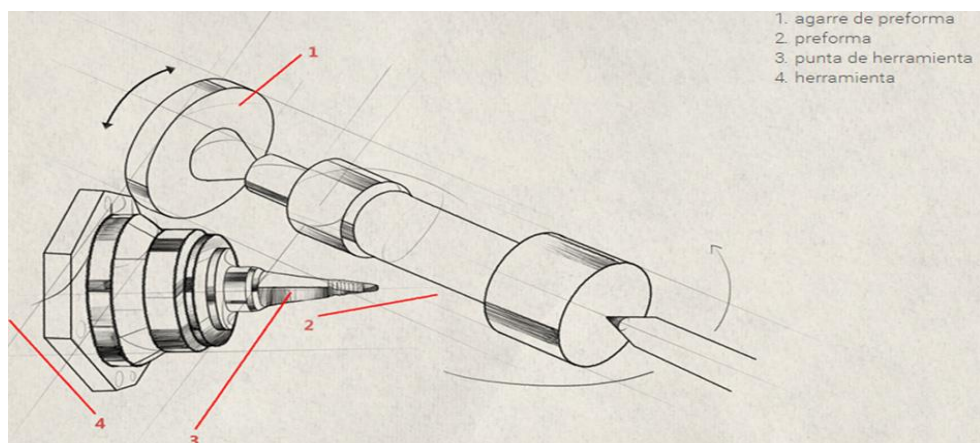


Ilustración 14: Sistema por mecanizado a alta velocidad. Alba Sánchez Ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ.



Ilustración 15: Funcionamiento del mecanizado a alta velocidad. Artículo online "Alta velocidad y alto rentabilidad en el mecanizado" revista informática INTERPRESAS, redacción de empresa 19/01/2010.

- FABRICACIÓN LAMINADA

Este proceso de impresión 3D se encuentra en medio de dos campos, la impresión aditiva y sustractiva ya que aunque esencialmente se sigue eliminando material, al mismo tiempo se hace un aporte del mismo, se podría decir que es una técnica aditiva que sigue los principios de los procesos sustractivos y por esta razón se ha catalogado como tal. Este concepto engloba diferentes sistemas de fabricación como son la Manufactura aditiva por ultrasonido (UAM) y la manufactura por objetos laminados (LOM). A grandes rasgos ambas tecnologías funcionan prácticamente igual, consiste en un aporte de material que generalmente es en láminas, principalmente láminas de papel o metálicas y un proceso de pegado y corte de cada una de las mismas unidas entre sí. Las principales diferencias residen en el tipo de material de construcción utilizado y en la forma de unión entre ellas.

La manufactura aditiva por ultrasonido (UAM) utiliza hojas o cintas de metal que son unidas entre sí utilizando una soldadura a partir de vibraciones ultrasónicas (20.000 hz aproximadamente) aplicadas a láminas metálicas (unidas bajo presión) creando una soldadura de estado sólido. Posteriormente, una fresadora realiza el contorno para crear la forma necesaria para cada capa siguiendo el patrón creado en un archivo de diseño informático hecho por PC previamente. Una vez creada cada capa, queda unida la parte de material que corresponde a la sección que en ese momento se haya reproducido y el material que no pertenece a dicha sección es retirado. Esta retirada se podrá hacer con cualquier mecanismo de corte mecánico ya sean cuchillas, disco o incluso un corte con agua a presión.

Por otro lado, la manufactura mediante objetos laminados es prácticamente igual, consiste en un aporte de material pero en este caso en lugar de ser metal se trata de láminas de papel encoladas previamente y en lugar de recurrir a una soldadura para unir las capas, se utiliza adhesivo. Este proceso, comienza como el anterior, añadiendo el material a partir de un rodillo, las hojas encoladas previamente se colocan encima de la anterior, cada una correspondiente a una capa del modelo y una vez extendida se prensa mediante un rodillo, de esta manera quedan totalmente unidas entre sí, en este momento, utilizando un haz laser, se corta el perímetro de la pieza, liberando el exterior de la pieza en sí. Para eliminar el material que no pertenece a la pieza, al tratarse de láminas enteras y solidas que no desaparecen diluyéndose en agua como en los sistemas anteriores se recurre a un sistema llamado "Cross hatching method" o método de rayado. Este método consiste en que en cada sección, una vez trazada la pieza y recortado el perímetro, se hace un corte como si de un rayado se tratara, como este proceso es repetido en todas las capas, una vez la pieza se levante por un lado, el exceso de material del exterior de la sección caerá como un solo bloque mientras que el interior se podrá quitar empujando los cubos resultantes de cada corte ya que no habrá cohesión ninguna entre ellos. Un parentesco podría ser el juego de "Jenga" en el que se retiran los cubos. Una vez acabada la sección, de la misma manera que en procesos anteriores, la cama de construcción desciende y una nueva capa se extiende y se repite el proceso.

INFORMACIÓN TÉCNICA

- Tipología de maquinaria: MCorMatrix 300 plus.
- Área de construcción: 256mm x 169mm x 150mm.

MATERIALES

- En el caso de la Manufactura por ultrasonido, su materia prima suele estar más orientada hacia metales, otorga la posibilidad de trabajar con elementos como aluminio y cobre, elementos con un punto de fusión distinto, mientras que en el caso de la Manufactura aditiva por objetos laminados, se suele recurrir a folios de papel, cartón, plásticos incluso madera en ocasiones.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas

- La principal ventaja de este tipo de sistemas es el bajo coste de los materiales como son metales y papel, incluso algo tan común como el Papel DIN-A4.
- Por otro lado tiene una gran velocidad ya que se trata de un proceso realmente estandarizado y en el que no se recurre a ninguna reacción, es simplemente una unión mecánica.
- El proceso de corte y limpieza de la pieza es rápido y sencillo, normalmente no deja ningún desperfecto en la pieza.
- Permite combinar materiales con puntos de fusión distintos.

Desventajas

- La resistencia del producto viene directamente relacionada con el material utilizado y el material adhesivo
- La resistencia en el caso de la técnica "LOM" no es muy elevada ya que al fin y al cabo se está trabajando con hojas de papel.
- Cantidad o variedad de material limitado.
- Se trata de maquinarias no muy populares dentro del mercado de la impresión 3D por sus limitaciones en cuanto a aplicaciones.

APLICACIONES

- La principal aplicación de esta tecnología está enfocada a pruebas volumétricas para la toma de decisiones ya que si se busca obtener productos finales es preferible decantarse por uno de los muchos sistemas comentados anteriormente.

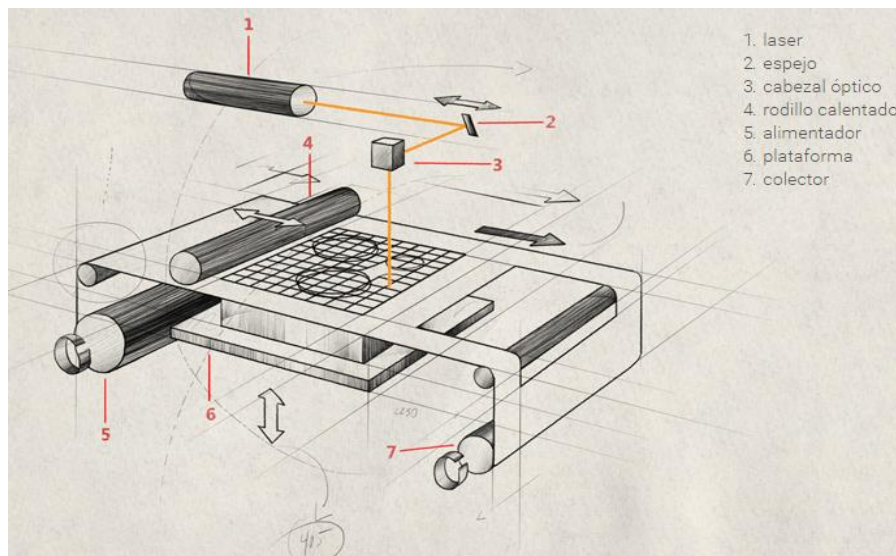


Ilustración 16: Sistema de fabricación laminada. Alba Sánchez Ingeniera en Tecnologías Industriales en BQ.

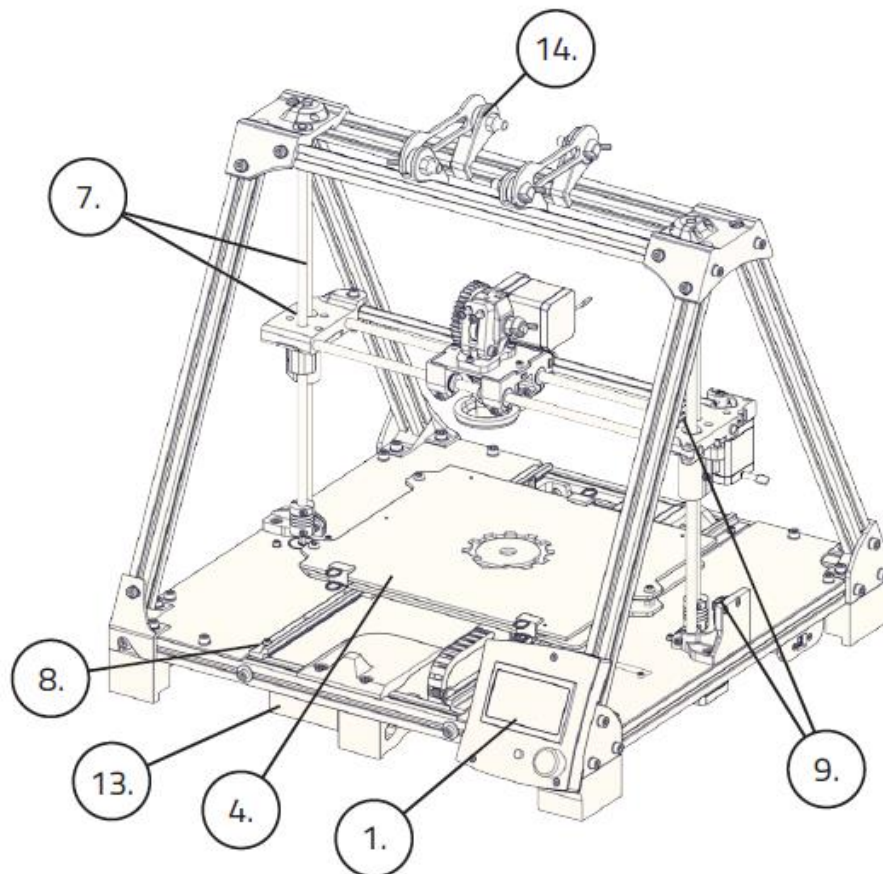
CAP 3. IMPRESIÓN (MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA)

3.1. IMPRESORA BCN3D+

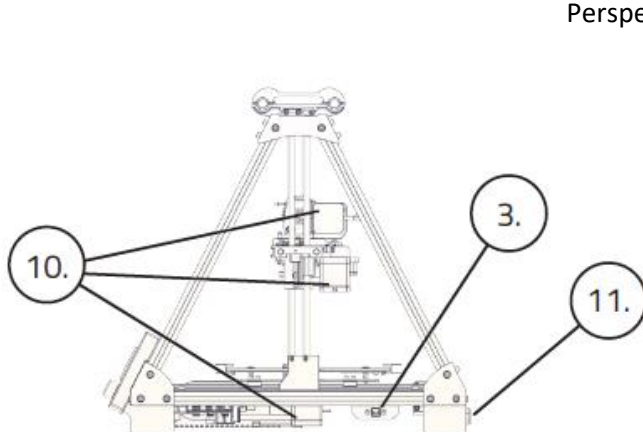
Dado que el objetivo final es llegar a demostrar el valor de esta tecnología aplicada dentro del sector de la construcción, se ha considerado oportuno un trabajo práctico con el que obtener valores, información y principalmente conocer como es el funcionamiento y las posibilidades de esta tecnología de primera mano para después, poder extrapolar estos resultados a una gran escala. Para lograr tales objetivos, se ha trabajado a diario con una impresora 3D, concretamente la BCN3D+ de "RepRapBCN" y en este apartado se mostrará su funcionamiento, los elementos técnicos que la componen y como estos trabajan entre sí para poder acabar realizando un producto.

La impresora BCN3D+ trabaja siguiendo los principios de la impresión aditiva y en concreto la deposición fundida, es decir que a partir del fundido de un hilo plástico que puede ser bien de PLA, ABS, Nylon, HIPS, PVA, Laybrick, Laywood o Filaflex, según la boquilla de la que se disponga se podrá realizar un modelo creado anteriormente en un archivo CAD o similar en la realidad.

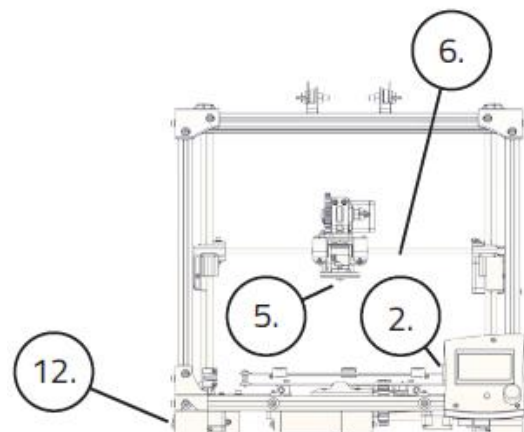
Para dar a conocer la BCN3D+ y en especial los principios de funcionamiento de las máquinas de impresión 3D se procederá a explicar todos los elementos que la componen, de esta forma, acto seguido, poder conocer como estos trabajan entre si y como interaccionan. Se hará hincapié en los más relevantes a la hora de llevar a cabo el producto como son el extrusor y el cabezal con todos los elementos que lo componen, la "Hot Bed" o cama caliente y la pantalla LCD con la que se podrá controlar y supervisar el funcionamiento de la impresora. Una vez explicados, se mostrará como la máquina puede moverse en sus tres ejes de coordenadas gracias a sus cuatro motores incorporados. Finalizada la explicación mecánica de la impresora, se mostrará la parte electrónica de la misma para poder conocer cuáles son los dispositivos que la gobiernan y como estos están conectados entre sí para poder cumplir las órdenes de impresión.



Perspectiva



Vista frontal

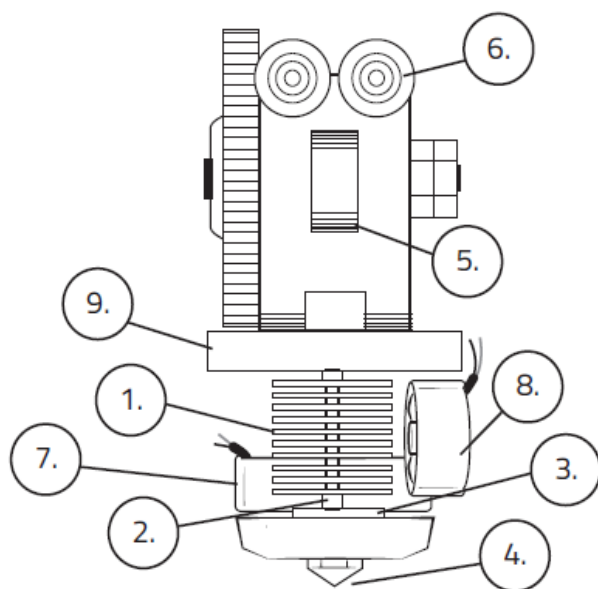


Vista lateral

1) Pantalla LCD	8) Guías lineales eje "Y"
2) Ranura tarjeta SD	9) Finales de carrera mecanismo End Stop
3) Conector USB	10) Motores paso a paso
4) Hot bed (base calefactora)	11) Toma de corriente
5) Hot end	12) Botón encendida
6) Guías eje "X"	13) Fuente de alimentación
7) Varillas roscadas y guías eje "Z"	14) Soporte bobina

3.1.1. MECÁNICA

El Hot End y el cabezal, es el conjunto de elementos encargados de generar un suministro constante de material, fundir el mismo y depositarlo siguiendo el modelo CAD diseñado previamente. Los elementos que lo componen son los siguientes:



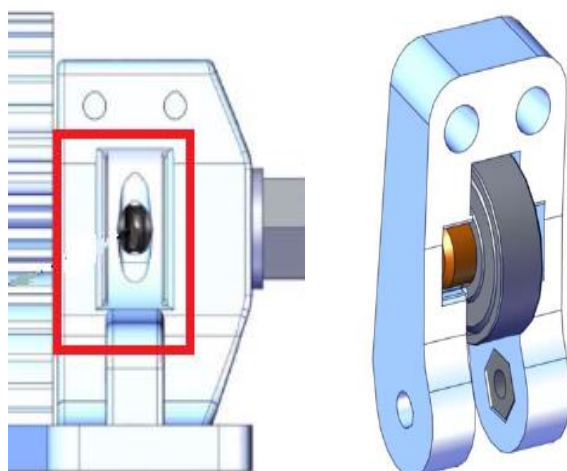
Elementos:

- | |
|-----------------------------------|
| 1) Disipador de calor (Heat sink) |
| 2) Barrera térmica (Heat break) |
| 3) Bloque calefactor (Hot block) |
| 4) Boquilla (Nuzzle) |
| 5) Balancín |
| 6) Tornillo de apriete |
| 7) Ventilador de capa |
| 8) Ventilador Hot end. |
| 9) Carro eje "X" |

Ilustración 17: Esquema de componentes extrusor y cabezal. Manual de usuario 3DBCN+ Fundació CIM.

CABEZAL

El Cabezal es el elemento enfocado en conducir el material y garantizar el aporte del mismo. Los elementos que lo componen son los siguientes: Balancín, el tornillo de apriete, el ventilador de capa, el ventilador de "Hot End" y el Carro del eje "X".



El Balancín: Se trata de un elemento en forma de disco que se encarga de ejercer presión y a la vez facilitar el paso del filamento cuando este va siendo arrastrado hacia el "Hot End". Este elemento trabaja conjuntamente con una ranura del propio "Hot End" la cual está marcada en rojo en la *ilustración número 18*. Esta muesca actúa como abrazadera cuando el hilo de material aún sin fundir pasa por su centro mientras que el balancín presiona por la parte frontal.

Ilustración 18: Esquema Balancín, Manual "Assembly Guide, X Axis & Struder" Fundació CIM

Mediante los tornillos de apriete (*Elemento 6, Ilustración número 17*) se regula la presión que el Balancín ejerce contra la muesca del "Hot End". Esta presión debe ser regulada y revisada antes de cada impresión ya que de ella depende que el aporte de material sea el correcto y continuo o que de lo contrario, se generen obstrucciones de material en esta zona.

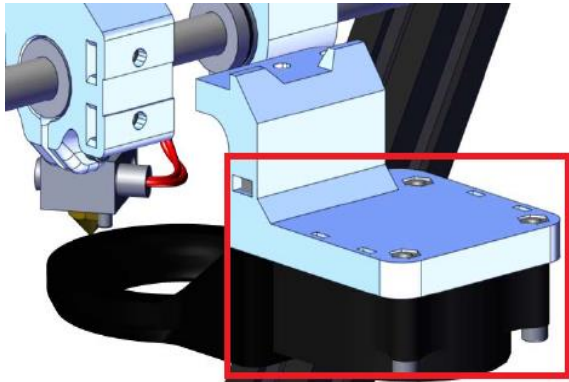


Ilustración 19: Perspectiva Ventilador de capa, Manual usuario "AssemblyGuide, X Axis & Struder" Fundació CIM

Ventilador de Capa: En la zona de extrusión, se encuentran dos tipos de ventilador, el encargado de enfriar el "Hot End" y el encargado de enfriar el material cuando sale del cabezal y la capa que acaba de ser impresa. Este tipo de ventiladores pueden ser de aspas o de turbinas, suelen tener un diámetro de 40mm o 60mm dependiendo del tipo de impresora. Más allá de intervenir en alargar la vida útil del Nuzzle, este trabaja para

generar un buen acabado de la pieza que está siendo impresa ya que enfría el material fundido cuando sale del cabezal y la sección recién extruida, generando de esta forma que el material solidifique antes con lo que la siguiente capa se asentará mejor y no creará "asientos diferenciales". Su actuación se aprecia en gran medida cuando se construyen estructuras que tienen un espacio entre ellas ya que si no se utilizara este ventilador, siempre quedaría material fundido por salir de la boquilla lo que dejaría un rastro de filamento entre estructuras que debería ser eliminado posteriormente en orden de un buen acabado.

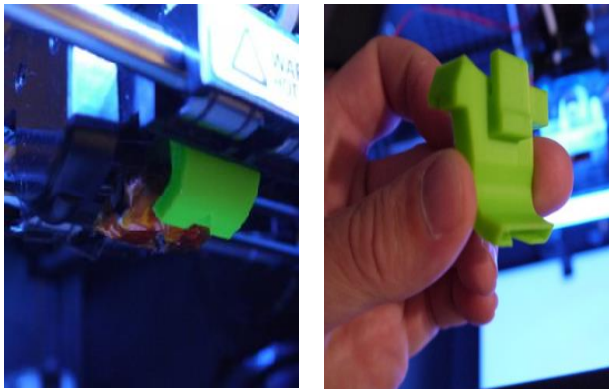


Ilustración 20: Modelo "Open source" de "Fan Duct" por usuario de Cults, Descarga de modelos 3D realizados por usuarios.

Este ventilador suele ir acompañado de un elemento llamado "Fan Duct" este puede ser impreso del mismo material con el que se vaya a fabricar y existen infinidad de modelos en la red. Se trata de un conducto con el que se puede enfocar el aire que sale de este ventilador y hacer que su rendimiento se incremente. Un ejemplo es el que se puede ver en la *ilustración número 20* con el que únicamente se centra el

aire en la salida de la boquilla.

Es conveniente y son los más utilizados por los usuarios aquellos ventiladores que permiten el enfriamiento de toda la capa de impresión de esta forma lograr lo que se ha comentado anteriormente, un enfriamiento y una solidificación más rápida para obtener un mejor acabado.

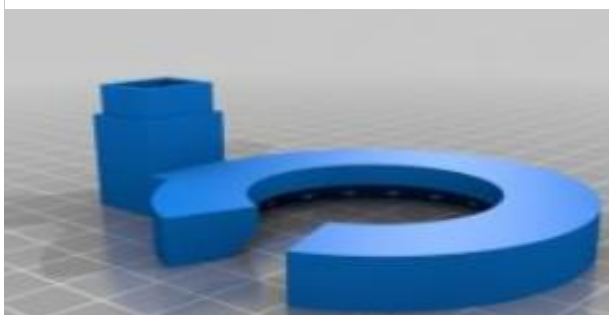


Ilustración 21: Modelo "Open source" de "Fan Duct" por usuario de Cults, Descarga de modelos 3D realizados por usuarios.

Se puede ver en las *ilustraciones número 22* la diferencia de utilizar o no un ventilador de capa en la impresión.

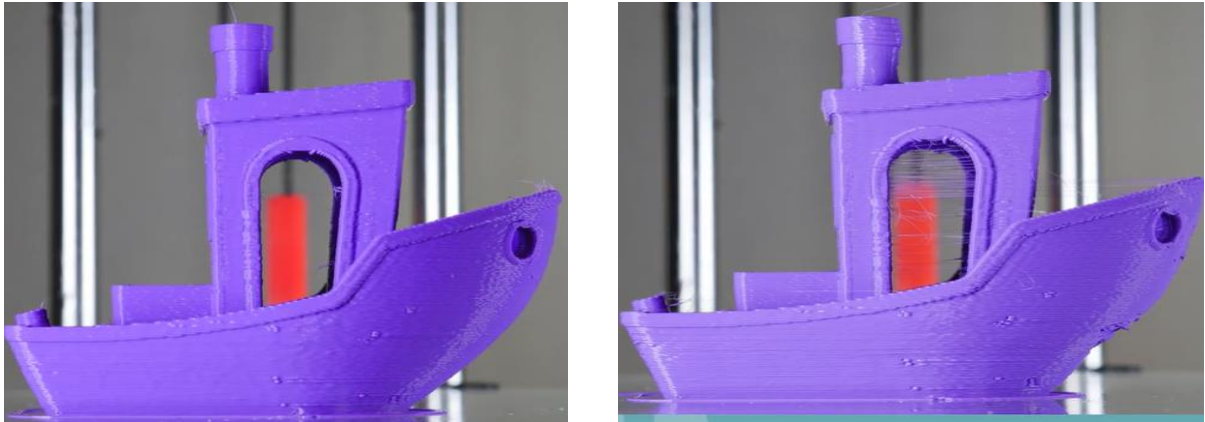


Ilustración 22: Importancia uso del ventilador de capa. Foro usuarios impresión 3D Cults.

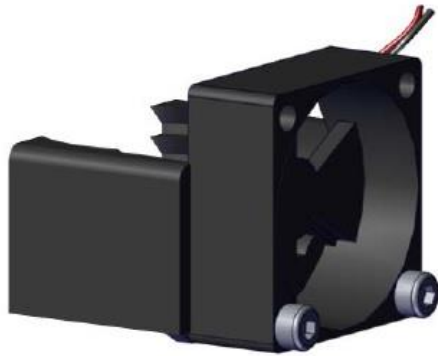


Ilustración 23: Manual usuario "Assambly Guide X Axis & Extruder". Fundació CIM

Ventilador Hot End: En el momento de impresión, en la zona del "Hot Block", lugar donde se encuentra la resistencia que se encarga de fundir el filamento, se pueden llegar a temperaturas próximas a los 300 grados. Estas temperaturas son necesarias para poder derretir el filamento y garantizar que este salga con una continuidad y una viscosidad adecuada pero es importante evitar que las zonas continuas a esta se calienten de la misma manera. Únicamente se necesita filamento derretido en las zonas preparadas para albergarlo y no en las demás ya que si esto sucediera, se podría dar lugar a obstrucciones de material y a reducciones de la vida útil de aquellos materiales que no están preparados para hacer frente a estas temperaturas.

EXTRUSOR

El extrusor es el elemento encargado del fundido de material y de la extrusión del mismo. Los elementos que lo componen son los siguientes: "Heat Sink" o Disipador de calor, "Heat break" barrera de calor, "Hot block" Bloque de calor y finalmente la boquilla.

Dentro del amplio mercado de los extrusores, se pueden encontrar metálicos y plásticos o parcialmente con piezas de plástico, esta diferencia marca un límite en cuanto la utilización de material ya que con los extrusores plásticos al contar con un tubo de teflón en el interior, no pueden soportar temperaturas tan elevadas como los metálicos. Tanto como si en este caso con la BCN3D+ donde se trabaja con extrusores metálicos como si se trabaja con extrusores plásticos es indispensable diferenciar entre dos zonas dentro del mismo, una de ellas fría la cual no debe calentarse de la misma manera que las que se encargan del fundido y otras partes las que si deben trabajar a altas temperaturas ya que son las que se encargan de derretir el material y extruirlo. Para diferenciarlas, se ha recurrido a un mapa de calor adjunto a continuación (*Ilustración número 24*). En esta imagen se pueden discernir estas dos zonas claramente. Una de ellas en rojo, sometida a altas

temperaturas donde se encuentran el "Hot block" y el "Nuzzle", mientras que luego en azul, se puede ver la zona del "Heat Sink", conducto por el que pasa el filamento para llegar a la boquilla.

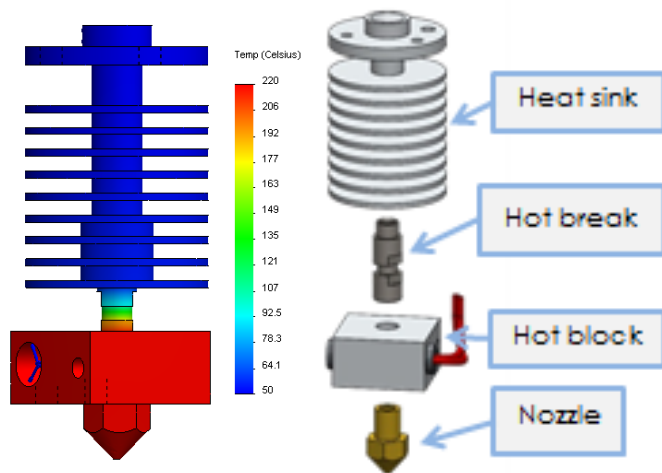


Ilustración 24: Mapa de calor y esquema del conjunto Extrusor y cabezal. Documento sobre el proyecto RepRap. Equipo BCN3D+Technologies.

Esta zona es la que debe ser protegida de las altas temperaturas. Para lograrlo, como se puede ver en el esquema de elementos, tras el "Hot Block", lugar donde se encuentra la resistencia para el fundido del material, se coloca una barrera de temperatura o también llamada "Hot Break", esta no es más que una pieza de acero inoxidable que actúa como barrera térmica con tal de reducir en gran medida la transmisión de temperatura por conducción.

Posteriormente, el diseño del "Heat Sink" en forma de alas permite una mayor zona de contacto para el aire frío proveniente del ventilador, de esta forma reducir la temperatura y garantizar una mayor seguridad.

PANTALLA LCD

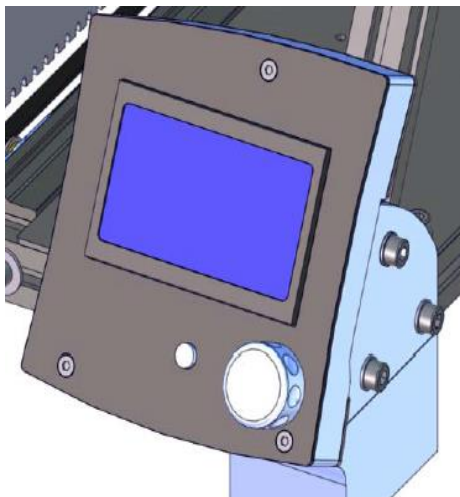
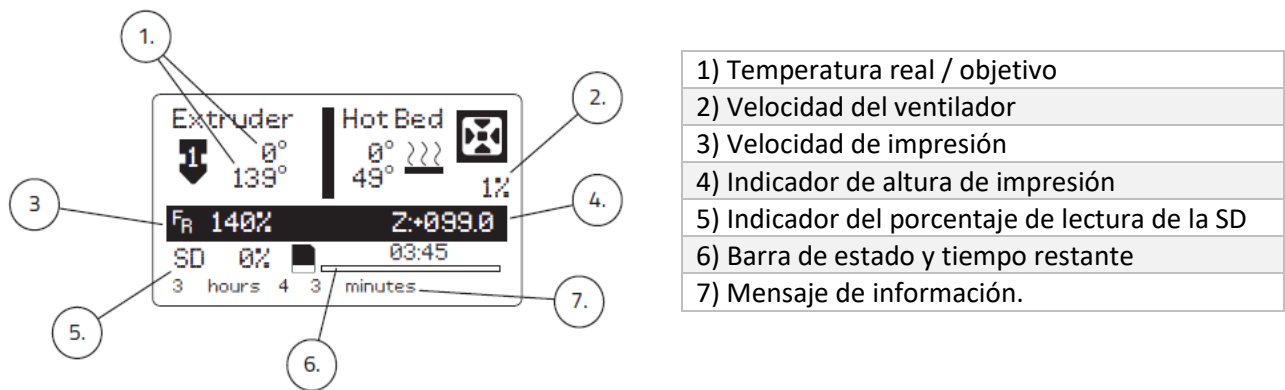


Ilustración 25: Manual de usuario "Assambly Guide Screen& Electronics". Fundació CIM.

Con tal de poder tener un control total de la impresora de una forma analógica, rápida y dinámica. La impresora cuenta con una pantalla con menú LCD desde el que mediante un pulsador rotatorio poder acceder a las diferentes ventanas y opciones que facilita el dispositivo. Controlando de esta forma desde las funciones básicas como encendido y apagado, haciendo un precalentamiento o un enfriamiento progresivo hasta de otras más complejas como poder realizar un purgado del extrusor, seleccionar archivos o controlar la velocidad de impresión y por ende su nivel de acabado final.



En el panel de control se tiene una visión global de todo lo que está sucediendo en la impresora en el momento de trabajar con ella, con esta información se puede ver si todos los elementos del dispositivo están funcionando correctamente, se encuentran bajo una temperatura estable, si los ventiladores están trabajando como deben, si la cama de trabajo está en condiciones optimas etc...Y a la vez poder ver el porcentaje de lectura del G-code o el tiempo que ha transcurrido desde que se envió a imprimir.

Temperatura real/objetivo: En la parte superior izquierda y derecha de la pantalla de control, cuatro temperaturas. Las superiores muestran la temperatura objetivo a alcanzar, tanto en el extrusor o Hot End (Izquierda) como en la cama de trabajo o Hot Bed (Derecha). Mientras que las inferiores muestran las temperaturas reales captadas por los termistores a las que se encuentra en ese momento. Con los valores que se pueden ver en la imagen se podría concluir que la máquina se encuentra en un proceso de enfriamiento ya que la temperatura objetivo es 0 grados.

Velocidad del ventilador: Arriba a la derecha se puede apreciar el rendimiento al que trabaja el ventilador de capa el cual se enciende en el momento en el que la impresora comienza a llevar a cabo su impresión.

Velocidad de impresión (Fr): A media altura del "display", en la zona izquierda se aprecia la velocidad a la que la impresora está imprimiendo, la velocidad por defecto de programación está ajustada al 100% pero esta velocidad tal y como se ha comentado en apartados anteriores es totalmente modificable (hasta cierto límite).

Para poder hacerse una idea de lo que implica aumentar la velocidad de impresión de la máquina está estipulado que si por ejemplo se aumenta la velocidad a un 150%, se imprimirá a 1.5 veces más rápido que lo haría a una velocidad del 100%. Es "imprudente" aumentar la velocidad de impresión por encima del 50% de lo estipulado por defecto ya que el aumento de velocidad incide únicamente en el rendimiento de los motores que controlan el movimiento en el eje "X", "Y", "Z" y el extrusor pero nunca en la temperatura. Por esta razón, es complicado que trabajando a una temperatura en la que el filamento sale en un estado optimo para trabajar a la velocidad establecida por defecto, pueda dejar el mismo acabado trabajando a velocidades superiores con la misma viscosidad ya que el filamento será arrastrado dando lugar a imperfecciones en la pieza.

Indicador de altura de impresión: A media altura, en el lado contrario al indicador de la velocidad de impresión, se puede ver la cota en el eje "Z" del cabezal de impresión o "Nuzzle". Gracias a esta cota se puede controlar si la impresora está reproduciendo fielmente el diseño hecho por ordenador.

Indicador del porcentaje de lectura del programa de impresión: Este parámetro no registra el porcentaje de producto extruido ni cuanto queda para que este quede finalizado, su función es indicar de manera dinámica cual es el porcentaje de líneas realizadas por el programa G-code. A grandes rasgos, el concepto de G-code es el lenguaje con el que una persona puede hacer que una máquina haga un trabajo, estableciendo mediante este código de lenguaje los parámetros del "que" tiene que hacer y "como debe hacerlo" marcando unas velocidades y unos vectores. Este código se consigue a partir de un programa conversor de archivos en formato STL a G-code capaz de ser leído por la máquina. Este valor se puede ver de forma numérica indicándose el porcentaje o en forma de barra justo al lado derecho.

Barra de estado y tiempo transcurrido: Consiste en la representación lineal del porcentaje del parámetro comentado en el apartado anterior. En la parte superior, se puede ver el tiempo que hace que se mando la orden a la máquina de empezar a imprimir.

Mensaje de información: Se muestran mensajes informativos de los procesos que está llevando a cabo la impresora.

CAMA CALIENTE (HOT BED)

Comúnmente conocida como la cama de trabajo, cama caliente o "Hot Bed", es el lugar donde se deposita el material fundido a medida que este va siendo extruido, creando de esta forma todas las capas del modelo CAD. Su presencia es indispensable principalmente porque se necesita de un elemento sobre el que construir y que pueda tener una temperatura constante ya que si se construyera sobre una plataforma fría, cuando el material fundido se depositara a una alta temperatura se produciría un gran cambio térmico que podría dar lugar a pandeos en el producto final, fisuras en el material y despegues de la pieza.

Una vez finalizado el modelo, la cama se verá inmersa en un proceso de enfriamiento progresivo totalmente natural, nunca forzado para que de esta forma el material se despegue solo y no dé lugar a roturas o a fisuras en el producto final.

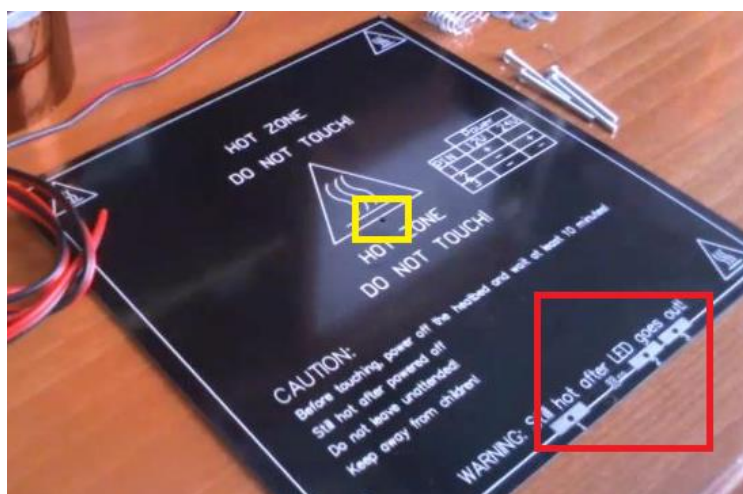


Ilustración 26: Printed Circuit Board (PCB), Manual de montaje PCB. Zonamaker por Raúl Diosdado.

El concepto de "Hot Bed", no es más que una "Printed Circuit Board" o comúnmente conocida como "PCB" de sección cuadrada o rectangular. Una "PCB" como se puede ver en la *ilustración número 26* es una placa constituida por circuitos, pistas de material conductor, generalmente cobre, que son conectados a una fuente eléctrica de 12V o 24V. De esta forma, calentar las resistencias interiores de la placa y obtener altas temperaturas con las que por contacto ser transferidas a una plataforma situada en la parte superior la cual en este caso es de vidrio pero que también podría ser de diferentes materiales como por ejemplo fibra de vidrio reforzada, cerámica o incluso polímeros, es decir de cualquier material resistente a altas temperaturas y que fuese buen conductor de las mismas.

Hay gran variedad de placas en el mercado, por tanto con el fin de dar una clasificación orientativa, la cantidad de puntos de conexionado a la fuente de alimentación puede ser un factor determinante.

Siguiendo este criterio existen dos modalidades:

1. Hay placas que únicamente cuentan con 2 puntos para el conexionado de los cables (que tan solo poseen un circuito resistivo). Con lo que únicamente se puede trabajar con un suministro eléctrico a 12V
2. Hay otras que tienen hasta 3 puntos para el conexionado de cables (físicamente están compuestas por 2 circuitos). Con este tipo de placas se puede trabajar con una alimentación de 12V o 24V indistintamente.

Como se verá en el apartado de "eléctricas" del presente trabajo, hay dos tipos de instalaciones para la "PCB", uno marcado en Rojo en la *ilustración número 26* donde se hará la conexión para la alimentación ya sea a partir de dos o tres puntos, mientras que por la ranura que se ha marcado en amarillo es donde algunas placas cuentan con un orificio por donde pasar un termistor de control, un termistor no es más que un sensor de temperatura que va conectado al "centro neurálgico" de la máquina con el que controlar la temperatura que se genera en la cama de vidrio o cerámica colocada sobre la "PCB". Esta cama caliente, va colocada encima de una plataforma móvil capaz de moverse en el eje "Y", unida mediante un sistema de tornillos, arandelas y muelles como se puede ver en la *ilustración número 27*.

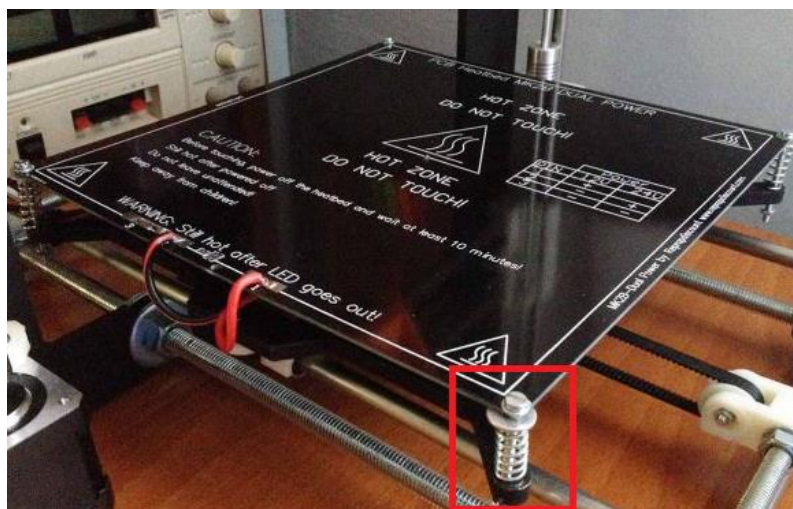


Ilustración 27: Sistema de anclaje a la plataforma móvil. Manual de montaje PCB. Zona maker por Raúl Diosdado.

Estos componentes son importantes ya que primeramente, gracias a ellos se pueda lograr que la cama este perfectamente nivelada y que cuando se proceda a imprimir se trabaje sobre una base totalmente horizontal y regulada. Por otro lado, evitar que la boquilla del extrusor se rompa o de lugar a fisuras del propio vidrio que hay sobre la "PCB" ya que cuando vidrio y boquilla tocan por un mal calibrado gracias a este sistema de muelles la cama actúa como amortiguador y se consiguen absorber estos golpes.

Una vez ya instalada la "PCB" y realizado todo el conexionado, la placa superior la cual será la que se caliente y sobre la que se vaya imprimir será pinzada mediante unos elementos que actúan como "grapas" tal y como se ve en la *ilustración número 28* para que de esta forma todo actúe y se mueva como un solo conjunto.

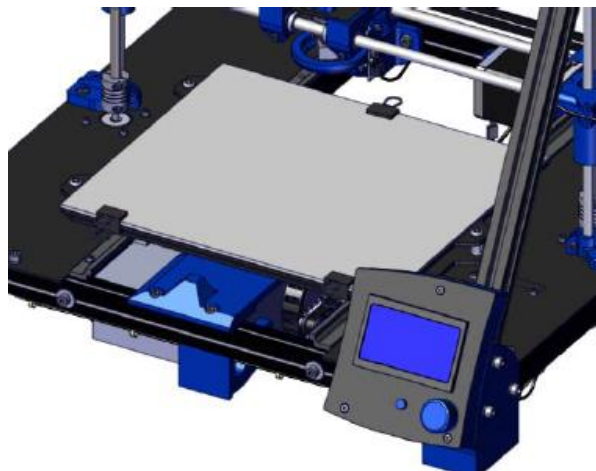


Ilustración 28: Pinzado de la Hotbed. Manual de montaje PCB. Zona maker por Raúl Diosdado.

MOVIMIENTOS

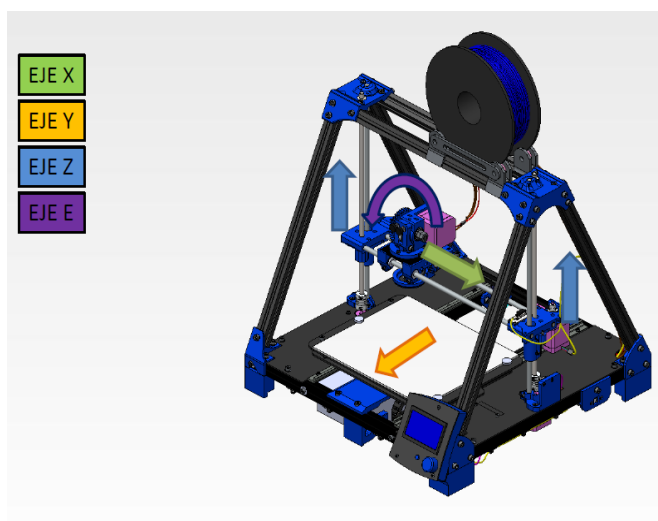


Ilustración 29: Presentación ejes de coordenadas. Proyecto RepRap sobre el funcionamiento de la 3DBCN+. Fundació CIM.

La BCN3D+ de la misma manera que la mayoría de las impresoras 3D trabajan a lo largo de los 3 ejes de coordenadas principales, tanto "X", "Y" y "Z". En el caso de la BCN3D+ este movimiento es generado por cuatro motores NEMA 17, se trata de motores de funcionamiento en bucle abierto mediante técnica de "microstepping" lo que permite movimientos muy precisos y repetitivos. Estos motores son conocidos como "stepping motors" o motores de paso, los cuales funcionan similar a un convertidor digital-analógico, es decir que convierte impulsos eléctricos en desplazamientos angulares que pueden ser de paso entero o medio, dependiendo de sus módulos de control.

Estos motores son indispensables para generar cualquier movimiento y se encuentran repartidos a lo largo y ancho de la impresora. Dos de ellos en la base los cuales hacen que las varillas verticales encargadas del movimiento en el eje "Z" empiecen a rotar, haciendo el movimiento de rosca que permite que las barras horizontales donde descansa el extrusor se muevan para arriba o para abajo. Por otro lado, en uno de los extremos de las varillas horizontales, se incorpora otro motor, este empieza a rotar, haciendo mover una correa dentada la que transmite este movimiento al "carro del eje X" y de esta manera conseguir mover el extrusor hacia la derecha e izquierda. Finalmente, debajo de la plataforma de trabajo hay instalado otro motor que transmite su movimiento de rotación a una correa que arrastra hacia adelante o hacia atrás dicha plataforma. Todos estos movimientos, están limitados por finales de carrera, encargados de envían la señal de stop en el punto en el que hayan sido ajustados, es importante revisarlos antes de cada impresión para evitar fallos de diseño y de la misma manera roturas de por ejemplo la cama de vidrio o la boquilla. De esta forma se puede garantizar un movimiento preciso a lo largo de los tres ejes de coordenadas dentro de la zona de trabajo.

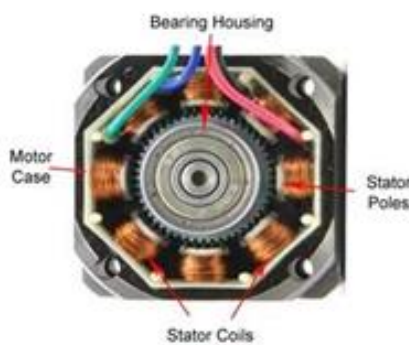


Ilustración 30: Esquema técnico, corte transversal motor NEMA 17. Presentación sobre el proyecto Rep Rap sobre mecánica y accionamientos. Fundació Cim



Ilustración 31: Esquema técnico motor NEMA 17. Presentación sobre el proyecto Rep Rap sobre mecánica y accionamientos. Fundació Cim



Ilustración 32: Motores NEMA 17, Presentación sobre el proyecto Rep Rap sobre mecánica y accionamientos. Fundació Cim

MOVIMIENTO EN EJE X

Como se puede ver en la *ilustración número 29*, Este movimiento permite mover el extrusor hacia derecha e izquierda. Para conseguir este movimiento, el funcionamiento está basado en la acción de uno de los motores comentados en el apartado anterior, este, situado en uno de los extremos de las varillas horizontales es el encargado de generar el movimiento de rotación con el que mover una correa dentada síncrona y arrastrar el conjunto de extrusor y cabezal.

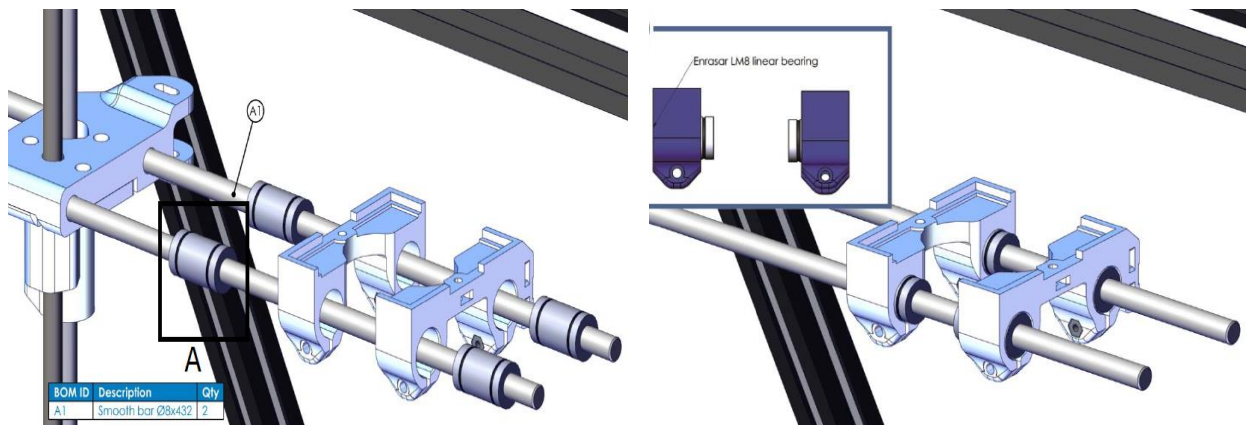


Ilustración 33 : Movimiento en el eje "X", Manual de usuario "Assambly Guide X AXIS & EXTRUDER". Fundació CIM.

El movimiento en este sentido es permitido gracias a unas varillas de sección lisa, a diferencia de las que se encuentran para generar el movimiento en el "eje Z". Como se ve en la *ilustración número 33* estas varillas atraviesan la plataforma móvil, esta plataforma es conocida dentro de la comunidad como el "carro del eje X" y será este el que se encontrará "pinzado" a la correa dentada y llevara consigo al conjunto formado por extrusor y cabezal. El carro cuenta con cuatro huecos, por los que entrarán las varillas, en el interior de estos se colocan 4 piezas las cuales están recubiertas con almohadillas en su interior, (*Elemento "A" en ilustración número 33*). Estas se encargan de dar rigidez al conjunto pero a la vez permiten dar la presión necesaria para conseguir la movilidad precisa que se necesita en este tipo de máquinas.

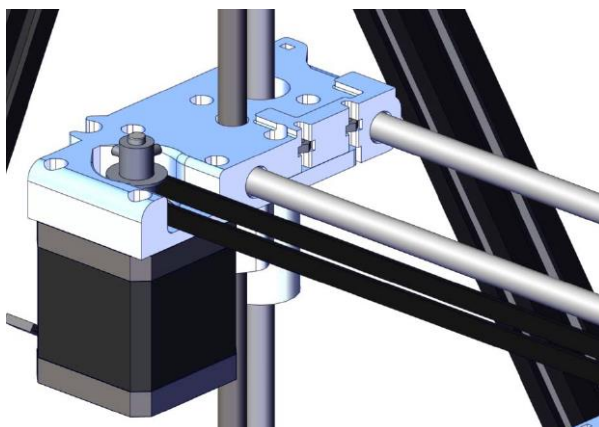


Ilustración 34: Instalación del motor NEMA17, Manual de usuario "Assambly Guide X AXIS & EXTRUDER". Fundació CIM.

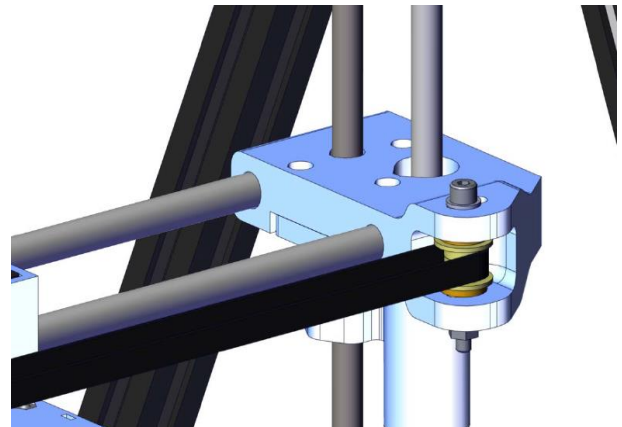


Ilustración 35: Instalación del disco de retorno, Manual de usuario "Assambly Guide X AXIS & EXTRUDER". Fundació CIM.

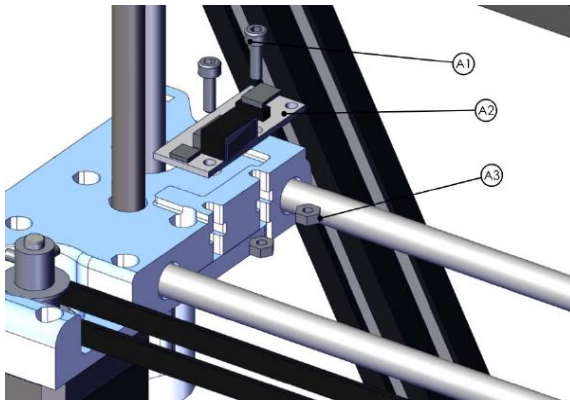


Ilustración 36 : Instalación del final de carrera, Manual de usuario "Assambly Guide X AXIS & EXTRUDER". Fundació CIM.

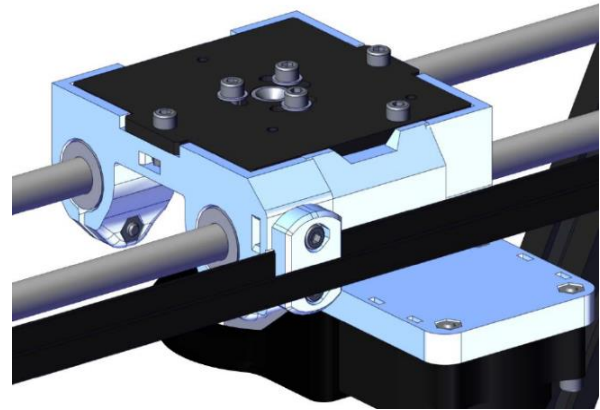


Ilustración 37: Pinzado del "Carro del eje X" 7, Manual de usuario "Assambly Guide X AXIS & EXTRUDER". Fundació CIM.

Posteriormente a la instalación de las guías por las que se moverá el extrusor, se procede a la instalación del motor "NEMA" quien será el elemento "tractor" que se encargará de generar la fuerza para arrastrar el conjunto. En el otro extremo, se instala un disco que actúa como elemento de retorno para la correa y de esta manera permitir generar el movimiento de polea, pudiendo mover el extrusor en ambos sentidos. Finalmente, se necesita de un elemento capaz de transmitir este movimiento a la plataforma del extrusor, este elemento es visible en la en la *ilustración número 37*, donde actúa como "grapa" reproduciendo el movimiento de la correa dentada en la plataforma del extrusor.

Como en todos los ejes, se necesita de elementos que marquen los límites del movimiento para que nunca se pueda llegar a extruir fuera del espacio de trabajo delimitado por la cama de vidrio, estos elementos se pueden ver en la *ilustración número 36*. Por esta razón, en cada uno de los lados de estas guías horizontales se instala un final de carrera que manda la señal al "centro de neurálgico" del dispositivo y de esta forma detener automáticamente el movimiento.

MOVIMIENTO EN EJE Y

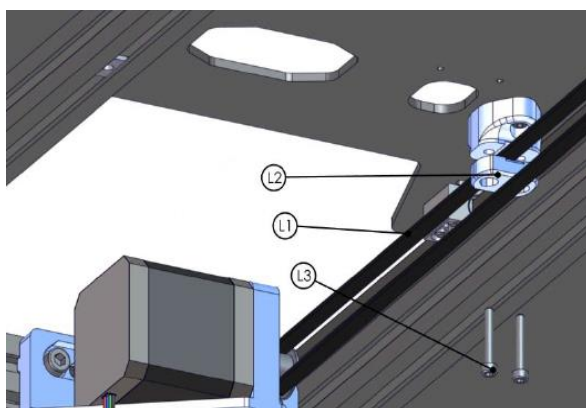


Ilustración 38: Pinzado de la correa dentada, Manual de usuario "Assambly Guide Y AXIS & HOT BED". Fundació CIM.

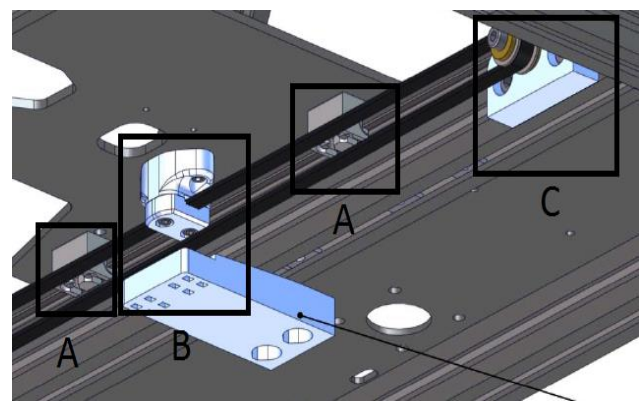


Ilustración 39: Interacción de elementos, Manual de usuario "Assambly Guide Y AXIS & HOT BED". Fundació CIM.

Tanto el funcionamiento como los elementos que permiten el movimiento de la cama de trabajo a lo largo del eje "Y", son prácticamente idénticos a los que se han podido ver en el eje "X". En un extremo de la parte inferior de la plataforma móvil, se instala el motor "NEMA 17" sujeto a la propia estructura de la impresora y que junto al *disco de rotación (Elemento C, ilustración número 39)* permiten generar un movimiento de polea, dando lugar al movimiento hacia adelante y hacia atrás de la PCB. Este movimiento es transmitido o conectado a la plataforma móvil mediante un "pinzado" generado por un elemento similar a una grapa (*Elemento B, ilustración número 39*), de esta manera se reproduce el movimiento de la cinta en la plataforma móvil y por ende del conjunto superior. El hecho de contar con una correa dentada permite reproducir movimientos precisos los que mediante una cinta totalmente lisa serían más complicados de conseguir.

Finalmente, para poder definir el espacio de trabajo o límites de actuación de la cama se disponen de finales de carrera (*Elemento A, ilustración número 39*), estos son activados por la grapa que genera la transmisión del movimiento de la correa a la plataforma y de esta manera marcar tanto el límite superior como inferior de movimiento.

MOVIMIENTO EJE "Z"

Este eje de movimiento es el más delicado en los que esta máquina puede moverse, esto viene dado por la sencilla razón de que tanto la boquilla por donde sale el material fundido como la cama de vidrio donde se deposita son elementos extremadamente frágiles y susceptibles de sufrir daños si no existe una regulación previa. Por esta razón, a diferencia de los demás ejes, no cuenta con la presencia de ninguna correa dentada que genere el movimiento sino que se trabaja con dos tipos de varillas, una de ellas roscada (*Elemento B, ilustración número 41*) quien actúa como elemento tractor reproduciendo el movimiento rotatorio que generan los motores a partir de unos cabezales que se pueden ver sobresalir de la base de la impresora en la *ilustración número 40*, dando lugar a un movimiento de rotación que "enrosca" para subir el extrusor y "desenrosca" para bajarlo y la otra lisa, que actúa simplemente como guía. Por otro lado, de la misma forma que en El Eje "X", se recurre a la presencia de las piezas con almohadilla para generar presión y un deslizamiento limpio y preciso se puede ver como también tienen lugar en este (*Elemento A, ilustración número 41*).

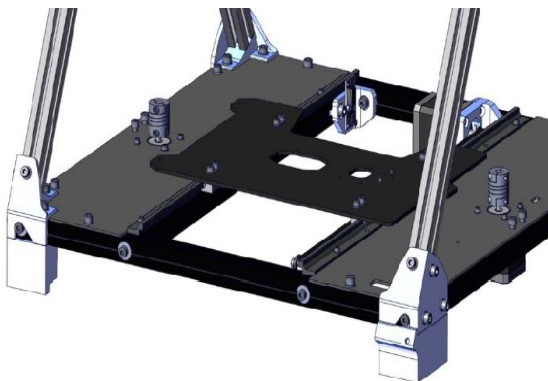


Ilustración 40: Conectores motores-varillas. *Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM*

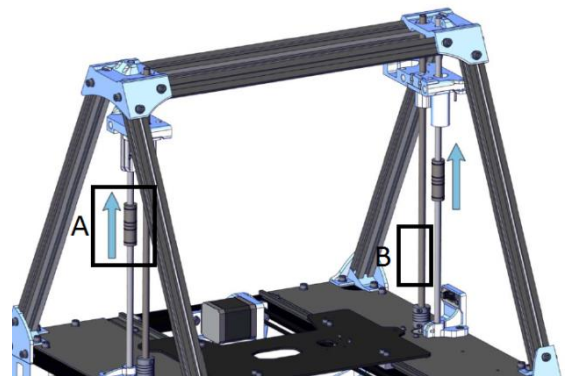


Ilustración 41: Deslizadores eje Z, *Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM*

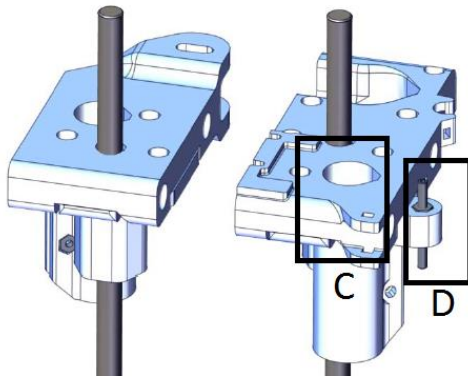


Ilustración 42: Instalación EndSTops. Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM

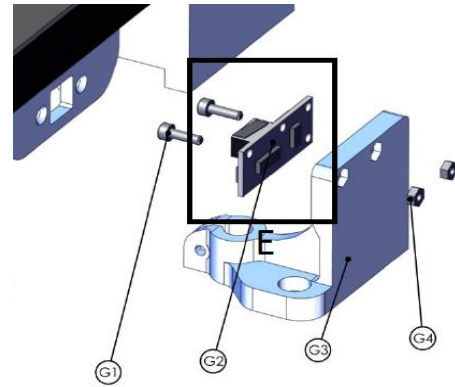


Ilustración 43: Instalación EndSTops. Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM

En la *ilustración número 42* se puede ver cómo trabajan conjuntamente la varilla roscada junto con la de sección lisa. El hueco "C", es el lugar pasante para las varillas lisas y es el lugar donde se encastará la pieza con almohadilla comentada anteriormente. De esta forma, se conseguirá el movimiento de las dos piezas las cuales contienen encastadas entre si las varillas que actúan como guías para el movimiento en el eje "X" y por ende el movimiento vertical de extrusor y cabezal.

Finalmente, como en los ejes anteriores, se cuenta con finales de carrera en cada extremo. De la misma forma que en los demás, estos finales de carrera son totalmente regulables ya que el responsable de activar este final de carrera en este caso es el tornillo señalado como *Elemento D* en la *ilustración número 42*, simplemente atornillándolo o desatornillándolo se permitirá bajar más o menos a la boquilla. El límite marcado por el fabricante esta en el grosor de una lamina de papel doblada (*Ilustración número 45*) por tanto, es vital regular este nivel y hacer las comprobaciones pertinentes antes de cada impresión con tal de evitar roturas. Por otro lado, es necesario hacer comprobaciones a nivel de perpendicularidad de barras ya que si estas tuvieran un grado de inclinación importante, se da por hecho que los diseños CAD saldrían defectuosos por tanto es otro trabajo previo que se debe realizar antes de hacer ningún modelo.

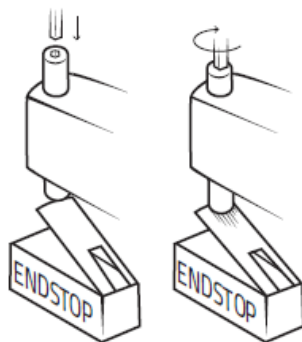


Ilustración 44: Esquema de activación de los Endstop en el movimiento Z. Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM

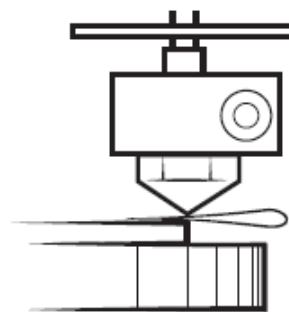


Ilustración 45: Calibración de la altura del cabezal. Manual de usuario "Assambly Guide Z AXIS". Fundació CIM

MOVIMIENTO EJE "E"

Este movimiento de rotación se considera fuera de los ejes de coordenadas convencionales ya que no genera ningún movimiento con tal seguir ningún vector de dirección para realizar el modelo. A pesar de ello, es indispensable ya que este, creado por el motor que se encuentra en la parte trasera del extrusor es el encargado de arrastrar el filamento directamente de la bobina e ir haciendo un suministro constante de material.

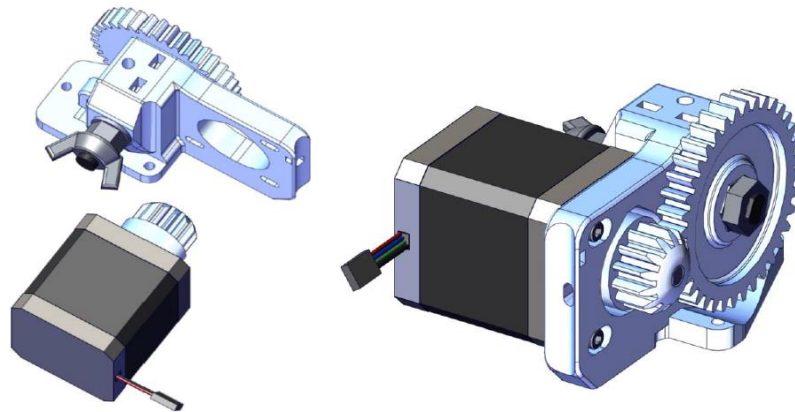


Ilustración 46: trabajo del motor en el movimiento "E" Manual "Assambly Guide, X Axis & Struder" Fundació CIM.

Como se puede ver en la *Ilustración número 46*, el movimiento viene dado por el Motor NEMA cargado en el extrusor. Este motor, como en los demás movimientos genera el movimiento rotatorio el cual en este caso mediante un cabezal en forma de rosca es transmitido a una mayor que juntamente con la muesca que se encuentra en el interior del cabezal ejerce de guía para el filamento y el balancín que con la presión correctamente ajustada generan el arrastre del filamento por el interior del extrusor hasta el "Hot block" donde es derretido y extruido por la boquilla.

3.1.2. ELECTRÓNICA

En este aparatado, se pretende dar a entender cómo son los principios y elementos encargados de controlar todos los mecanismos de una impresora 3D, partiendo de cómo está alimentada, cómo es el centro neurálgico de la misma y posteriormente cómo son las conexiones encargadas de unificar y hacer funcionar todas las unidades.

ALIMENTACIÓN

Para la alimentación de la impresora se puede recurrir a varias alternativas, en este caso se trata de una fuente de alimentación compacta conectada a corriente convencional doméstica de 230V pero hay varias alternativas como por ejemplo una Fuente ATX, es decir una fuente de alimentación de PC convencional.

Es vital que si como en este caso se utiliza una fuente compacta, esta debe contar como mínimo con varias salidas a 12V y una corriente de 20A para poder garantizar que la impresora va a funcionar.

El reparto de la potencia que va a salir de la fuente de alimentación es el siguiente:



- 40W para el extrusor
- 100 W para la cama caliente o Hot Bed.
- 15 W para la electrónica y motores.

Ilustración 47: Fuente de alimentación compacta 12V. Proyecto RepRap, funcionamiento BCN3D+. Fundació CIM.

CONTROL DE LA IMPRESORA “CENTRO NEURÁLGICO”

El centro neurálgico de la impresora BCN3D+ está compuesto por dos elementos, uno de ellos un potenciómetro encargado de gestionar y distribuir la potencia necesaria a cada elemento y el otro, un controlador, el que se encarga de indicar al potenciómetro la forma en la que debe de repartir esta energía en cada situación y dependiendo del movimiento que se vaya a realizar.

El elemento controlador se trata de un "Arduino", es decir una placa basada en un micro controlador que no es más que una plataforma de hardware libre en la que se le pueden grabar las instrucciones de trabajo mediante un Firmware. De esta forma, poder controlar cada uno de los elementos de la impresora o periféricos que estén conectados a sus entradas y salidas,

Por otro lado, el potenciómetro en este caso se trata de una "RAMPS 1.4" la que consisten en un "Shield" o complemento de "Arduino". Esta placa va conectada a la parte superior del dispositivo "Arduino" mediante unos elementos llamados "Pines" con la finalidad de ampliar sus capacidades. Estos "Shields" pueden ser ampliados varias veces, siempre con un límite.

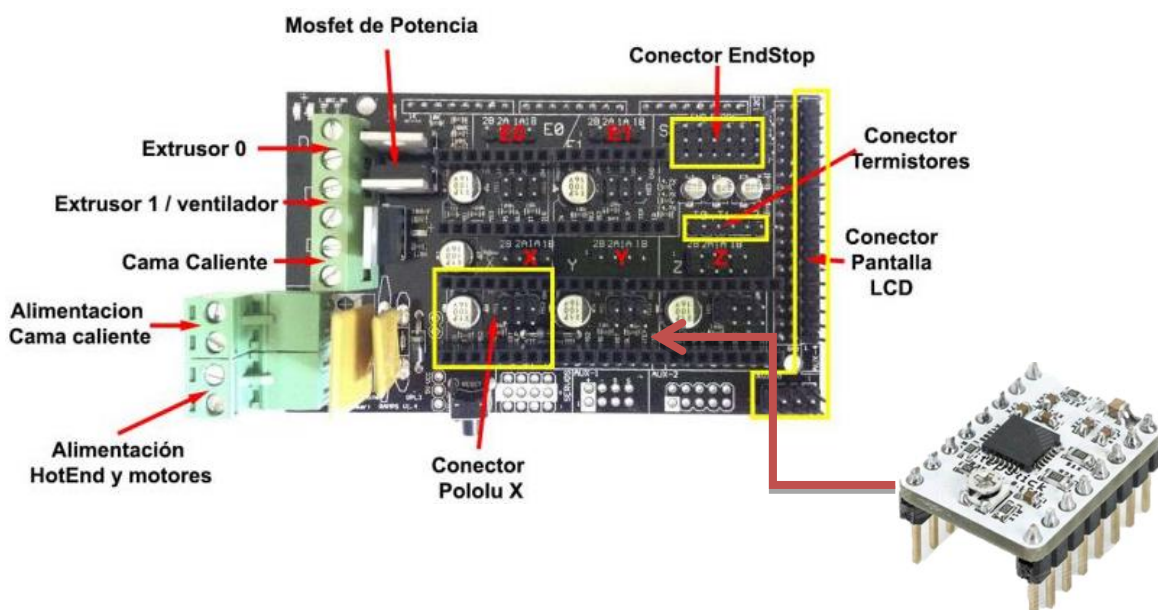


Ilustración 48: Ramps 1.4 con Driver A4988 Based . Funcionamiento y electronica proyecto RepRap. Fundació CIM.



Ilustración 49: Controlador Arduino Mega. Funcionamiento y electronica proyecto RepRap. Fundació CIM.

El trabajo cooperativo entre el Arduino y la RAMPS 1.4 es vital ya que por sí solo, el "Arduino" es incapaz de gestionar potencia. No puede mover motores, no puede calentar la cama caliente ni calentar el "HotBlock" para derretir el filamento. Por esta razón, necesita ir acompañado de un elemento que amplíe sus capacidades y de esta forma gestionar todos los equipos de la impresora.

Para hacer al dispositivo "Arduino" una placa capaz de controlar a la impresora, es indispensable la instalación de un "Firmware" es decir de un código que contenga las instrucciones y parámetros que deben ser leídos y comprendidos para de esta forma, poder accionar o detener mecanismos. En este caso, se ha trabajado con dos tipos de "Firmwares", uno de ellos "Marlin" y otro "Sprinter", el segundo al ser un sistema más básico, se ha utilizado para realizar las pruebas y ajustes de la electrónica, es decir, para realizar la configuración. Una vez ya hecha esta configuración y sabiendo que todos los elementos responden correctamente a las señales del "Arduino" se ha cargado una versión actualizada de "Marlin" la que a diferencia de "Sprinter" posee controles de aceleración capaces de detener la máquina en caso de que la impresora detecte altas temperatura o en el caso de no detectar ninguna estando trabajando. Para realizar el "vuelque" del "Firmware" a la placa "Arduino" se hace mediante conexionado USB entre la placa y el PC. Posteriormente, la carga del "Firmware" y las configuraciones necesarias se hace desde un "entorno de Trabajo de Arduino Mega".

CONTROL MOTORES NEMA 17

Una vez ensamblada la placa "Arduino" con la placa "RAMPS". Se deben conectar los "pololus" encargados de controlar los motores NEMA 17, se conectará cada motor en cada una de las posiciones marcadas en la ilustración número 48, como "conector pololu", donde hay cinco espacios disponibles.

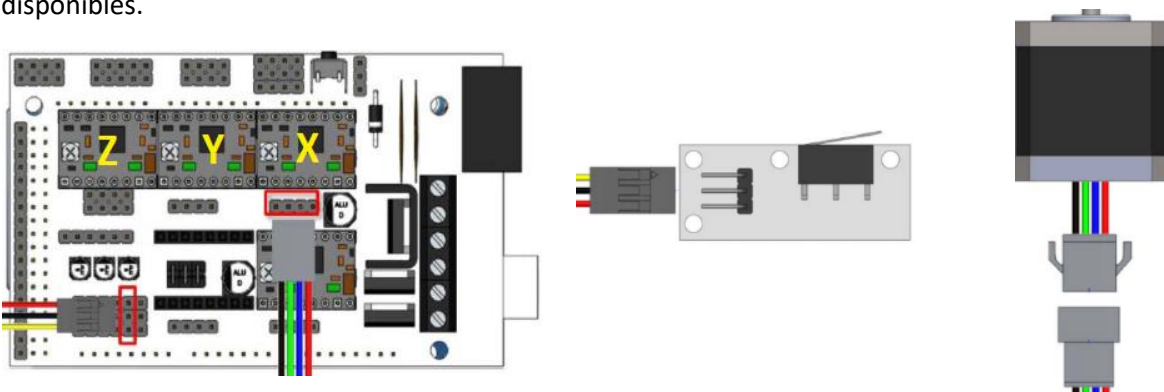


Ilustración 50: Conexionado de motor y finales de carrera a la placa RAMPS 1.4. Funcionamiento proyecto RepRap. Fundació CIM.

Estos "pololus" son los "Drivers" que controlan los motores paso a paso. Un "Driver" es simplemente un dispositivo controlador con el que mediante un programa informático cargado en él, permite a un sistema operativo interactuar en este caso con los motores NEMA a partir de la extracción del "hardware" instalado en el "Arduino Mega". Estos "Drivers" pueden interactuar con cualquier dispositivo conectado a su entrada y salida para que de esta manera realice cualquier acción. Son elementos indispensables ya que sin ellos el "hardware" instalado sería inservible y no podría comunicarse con los demás dispositivos.

Como se puede ver en la *ilustración número 48*, la impresora cuenta en su placa Ramps con cuatro "Pololus Driver A4988 Based", uno de ellos con dos conexiones para el "Eje Z" ya que en él se conectarán dos salidas para dos motores, otro para el "Eje Y", otro para el "Eje X" y en la parte inferior, en este caso queda un pololu libre para la conexión del motor del cabezal encargado de tirar del filamento "Eje E". En otros modelos de máquinas, se pueden encontrar con Ramps de hasta dos "pololus" en esta zona, de esta forma poder conectar dos extrusores.

Dentro del mercado de los "Drivers controladores" se pueden encontrar algunos con uno o dos potenciómetros. Ambos se utilizan de la misma manera ya que su principal función es ajustar la cantidad de corriente que le llega a cada dispositivo, de esta manera evitar sobrecalentamientos en el propio "Driver", por conducción a la Ramps y por otro lado, el calentamiento de los motores. La única diferencia es que con los "Driver" de dos potenciómetros también se pueden regular las vibraciones de la propia corriente. Mediante estos controladores, una vez conectada la "Ramps" a la fuente de alimentación es necesario ajustar la cantidad de corriente que va a llegar a cada elemento siguiendo un criterio. En el eje "X" e "Y" estos se han conectado a 200mA ya que no tienen que realizar un gran trabajo en comparación con los demás, en el caso del "Eje Z" el cual cuenta tal y como se ha comentado anteriormente con dos salidas, uno para cada motor, está regulado a 400mA, 200 para cada uno y finalmente para el motor del extrusor, se le da un suministro de 400mA ya que este debe hacer mucha más fuerza que los demás para tirar del filamento.

Finalmente, se necesita de la aparición de elementos limitadores del movimiento como son los finales de carrera, estos como son elementos que no necesitan de un aporte de corriente, no necesitan estar regulados por ningún "pololu" y por tanto, pueden estar conectados directamente a la "Ramps". Estos serán conectados directamente "pineados" a la posición que se ha marcado en la *ilustración número 50*. En esa zona el dispositivo cuenta con varias salidas para conectar todos los finales de carrera que necesite la impresora. Una vez conectados, estos mandarían la señal a la placa "Arduino" la que siguiendo las indicaciones del "Firmware" cargado en ella, mandaría la señal a la "Ramps" para que detenga el suministro de corriente a los motores encargados del movimiento.

CONTROL DEL EXTRUSOR

De la misma forma que se necesita un control por parte de la "Ramps" para enviar corriente a los motores, se necesita de un suministro energético adecuado para poder calentar el "Hot Block" y de esta forma poder calentar el filamento que va a ser extruido para realizar el modelo CAD.

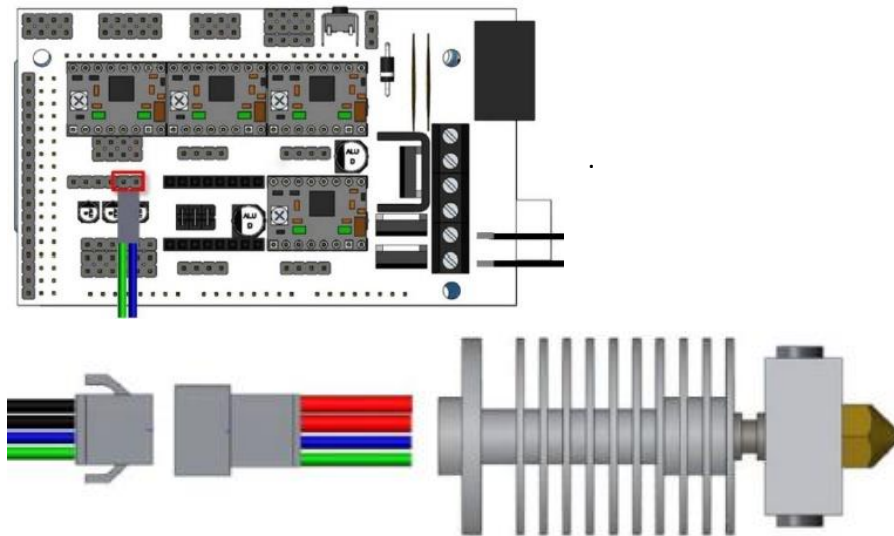


Ilustración 51: Conexión del Extrusor y Termistor a la placa RAMPS 1.4. Funcionamiento proyecto RepRap. Fundació CIM

En este caso, de la misma forma que se podrá ver en la "Hot Bed" o cama caliente hay que diferenciar entre dos instalaciones. Una de ellas encargada de emitir corriente para activar la resistencia encargada de generar la calor, identificada por un cableado totalmente negro y la otra, una de control y protección basada en un termistor situado en el "Hot Block" con un cableado de color verde y azul.

Una vez alimentada la "Ramps" por una de las "Clemas" o conexión de alimentación desde la fuente compacta se puede ver en la *ilustración número 51* como el cableado negro nace desde uno de los puertos de salida y va a parar a un conector desde el que se hace el empalme a otros de color totalmente rojos. Estos cables son los que llevan la corriente a una resistencia, que puede ser de diferentes tipologías, hay gran variedad de resistencias adecuadas para esta función en el mercado pero en este caso se trata de una "resistencia de cartucho", que situada en el interior del "Hot Block" genera las temperaturas necesarias para fundir el filamento.

Con la finalidad de poder controlar las temperaturas que se generan en el interior del "Hot Block", es indispensable la presencia de un "termistor", el cual simplemente es un sensor que manda información de temperatura a la placa "Arduino" para que en el caso de que esta sea muy elevada detenga la extrusión.

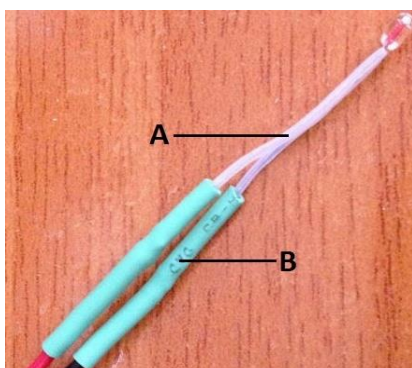


Ilustración 52: Protecciones del termistor. Fabricación del HotEnd, Zonamaker. Por Raúl Diosdado.

Este termistor, con tal de evitar falsos registros, debe estar correctamente aislado, para esto, en este caso se han protegido las dos patillas que están conectadas a los cables de color verde y azul mediante teflón (*Elemento A, ilustración número 52*) y la zona donde se hace el empalme entre patilla y cable, unida mediante termoretráctil (*Elemento B, ilustración número 52*), el cual a partir de un aporte de calor se retractará y dará una unión dura y resistente.

Este último paso se hace ya que no se puede dejar todo el trabajo de unión al estaño ya que este a una temperatura cercana a los 220-230 grados empieza a derretirse y dado que este sensor se encuentra en el interior del "Hot Block" estas temperaturas son fácilmente registrables.

Una vez protegido este termistor, se puede ver en la *ilustración número 51*, como este está conectado a uno de los pines de la placa "Ramps", este de aquí será el lugar donde se hará el pineado de todos los termistores de la impresora.

Es necesario saber qué tipo de "termistor" se está utilizando para que una vez realizado todo el conexionado, se puedan ir haciendo los ajustes necesarios en el "Firmware". En este caso se trata de un "termistor" de 100K pero si se diera la situación de que se desconoce con qué tipo de "termistor" se está trabajando, siempre se puede saber midiendo la resistencia en ambiente que este ofrece mediante un polímetro.

CONTROL DE LA "HOT BED" O CAMA CALIENTE

De la misma forma que se veía en la instalación anterior, el sistema que envuelve la "Hot Bed" o cama caliente está formado por dos elementos, uno de ellos un circuito encargado de calentar la resistencia en este caso de la "PCB" y el otro de control, continua siendo un "termistor" conectado a la "RAMPS 1.4."

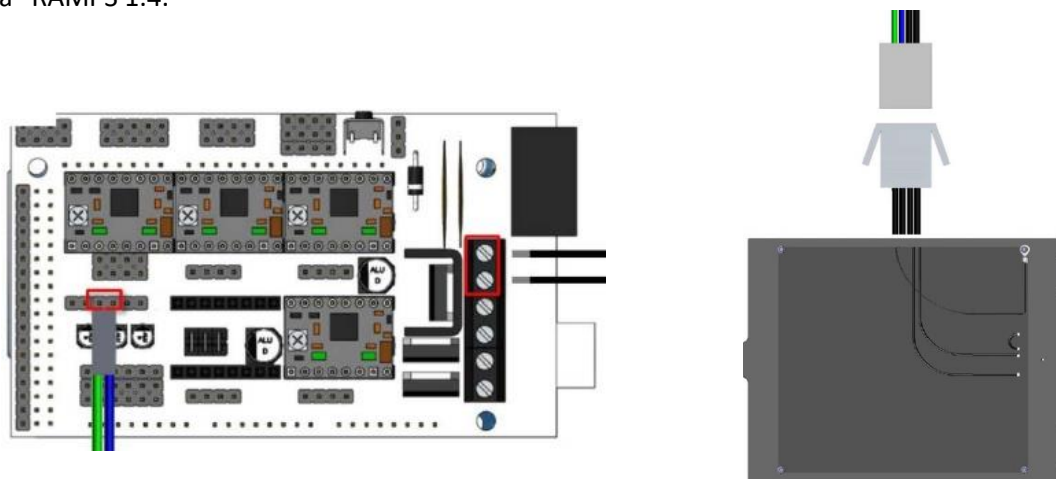


Ilustración 53: Conexión de la "PCB" a la placa "RAMPS". Funcionamiento del proyecto RepRap. Fundació CIM.

En este caso se trabaja con una placa "PCB MK2B DUAL" como placa calefactora o "Hot Bed", esta placa consta de 3 puntos de conexión en la parte inferior, lugar en el que se conectarán los cables para poder alimentarla y poder activar las resistencias interiores. Puede darse el caso de que se tenga que trabajar con una placa que únicamente tenga dos puntos de conexión, hay gran variedad en el mercado ya que con algunas de ellas únicamente se podrá trabajar a 12 V (únicamente dos conexiones) y otras con las que se podrá trabajar indistintamente a 12V o a 24V (tres puntos de conexión).

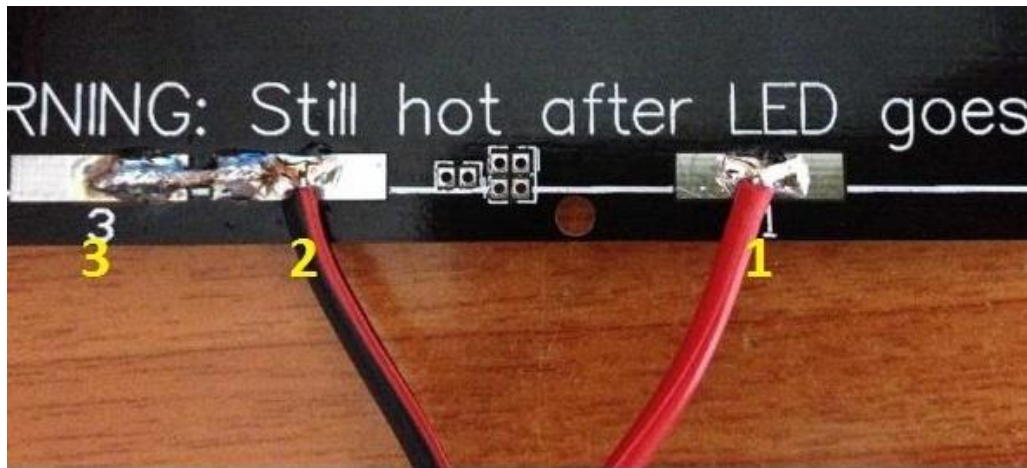


Ilustración 54: Conexión de la placa PCB. Montaje cama caliente, Zona Maker, Raul Desdeno

La diferencia entre estas dos tipologías de placas, reside en que las que únicamente pueden trabajar a 12V, constan de una resistencia general la que a través de una entrada y salida pueden calentar toda la cama mientras que como en este caso, las que pueden trabajar tanto a 12V como a 24V la cama está dividida en dos partes, una parte superior con una resistencia y una parte inferior con otra. Dependiendo de cómo se haga el conexionado la corriente irá en un sentido u en otro, calentando una resistencia u otra.

- Si se conecta el terminal de 1 a 3 la corriente únicamente calentará una parte de la cama.
- Si se conecta entre 1 y 2 se calentará la otra mitad.
- Si se conecta entre 2 y 3, se conectará la cama entera.

Esta configuración es la que permite alimentar a 12 y 24V. En el caso de que se alimente a 24V, se debe conectar la cama entre el terminal 2 y 3 para que se generen dos resistencias en serie dando lugar una resistencia de 6 Ohmios que trabajando bajo 24V acaba dando un resultado de 96W de Potencia dentro de su rango de trabajo (96W-120W). Mientras que en este caso donde la fuente alimenta a 12V, se ha puentado el terminal 2 y 3 y el otro cable se ha conectado en el terminal 1 tal y como se puede ver en la *ilustración número 54*. Dando como resultado dos resistencias en paralelo, estas dos de 3 Ohmios es decir generando una total de 1,5 Ohmios que bajo una tensión de 12V genera una potencia de 96W, dentro del rango anteriormente comentado.

Como se puede ver con este cálculo, es indiferente el tipo de placa y la tensión ya que siempre y cuando se haga un buen conexionado la potencia resultante acabará siendo la misma.

Por otro lado, la otra parte de la instalación, la que se encarga de realizar un control de la temperatura que se genera en la "Hot Bed" está basada principalmente en un termistor, este termistor, en este caso está ubicado en una de las esquinas de la "PCB", concretamente en una de las esquinas inferiores de la misma, cogido mediante una arandela en su cabezal, de esta forma garantizando su sujeción y que no pueda ser arrancado por ningún movimiento de la cama. Es importante que a la hora de hacer el conexionado, las zonas que queden al descubierto del termistor, aislarlas correctamente, en este caso no es tan importante utilizar teflón o termo retráctiles para garantizar la unión ya que los movimientos nos son tan bruscos como los que se dan

en el extrusor. En este caso se ha unido a la "PCB" mediante cinta "Kapton", la cual puede trabajar a altas temperaturas sin perder sus prestaciones.

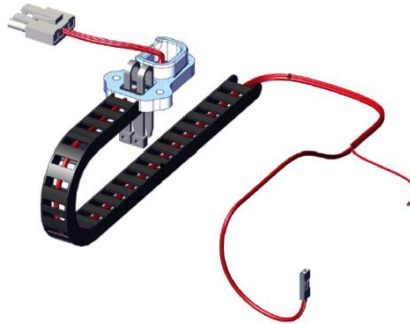


Ilustración 55: Instalación del cableado para la PCB. Manual usuario 3DBCN "Assambly Guide, Wiring". Fundació CIM.

Como se puede ver en la *ilustración número 55*, todo el conexionado de la cama irá a través de una guía flexible ya que el conjunto debe de permitir el movimiento de la cama en todo momento y si se dejara algún cable suelto o con una fijación demasiado rígida podría dar lugar a roturas bruscas o a dificultades de movimiento de la cama caliente.

Al final de toda la instalación de la "Hot Bed", se puede apreciar en la *ilustración número 53* como el termistor con un cableado de color verde y azul, igual que el del Extrusor una vez ya ha pasado el conector entre cama "PCB" y "Ramp", se conecta mediante "pineado" a uno de los pines localizados en la "Ramps". Justo al lado del anteriormente comentado. Mientras que, el cable de alimentación de la "PCB" por el que pasará la tensión para calentar la cama, es conectado a una de las salidas de la "Ramps".

CONTROL DE LOS VENTILADORES

Se trata de elementos vitales para el correcto funcionamiento de la impresora, sin ellos la producción estereotipada sería inviable ya que por una parte la vida útil de los materiales se acortaría radicalmente y por otro la calidad final de los productos sería muy inferior. La BCN3D+ cuenta con 3 ventiladores esenciales: Uno de ellos el ventilador del extrusor, el ventilador de capa y finalmente el ventilador de la propia "Ramps".

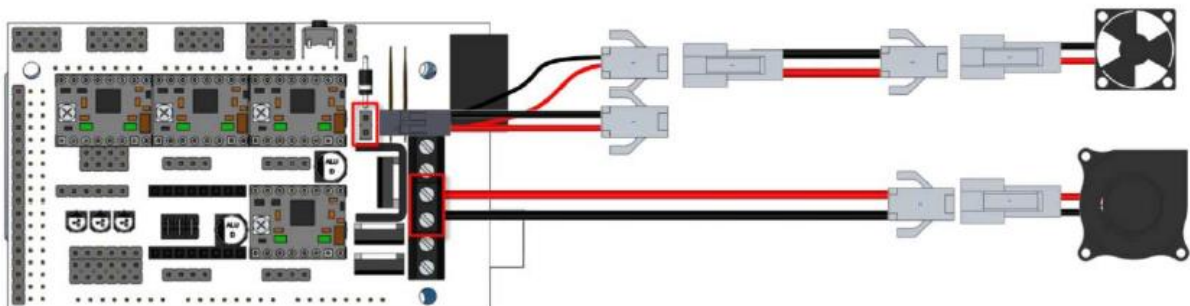


Ilustración 56: Conexionado de los ventiladores. Manual de usuario "Assambly Guide, Wiring". Fundació CIM.

En la "RAMPS 1.4" se cuenta con un total de 6 salidas para los distintos periféricos con los que pueda contar la impresora, cuatro de ellos ya adjudicados, dos para el conexionado de la cama caliente y otros dos para el conexionado del extrusor por tanto queda como resultado dos salidas libres. En este caso se han destinado estas dos salidas para el único elemento que no cuenta con un termistor con el que tener un control de temperatura, es decir para la "Ramps". Conectando el ventilador a esta salida y sin ningún termistor ni ningún ajuste en el "firmware", el ventilador trabajará desde que la impresora comienza a recibir corriente hasta que esta es cortada, logrando de esta forma que junto con los difusores que se encuentran en la "Ramps" y los ajustes de corriente por parte de los "pololus" se pueda trabajar tranquilamente sin excesos de temperatura que reduzcan la vida útil tanto del "Arduino" como de la "Ramps"

Por otro lado, el conexionado de tanto el ventilador de capa como del ventilador del extrusor se hará mediante conexión a los "Mosfets" de la "Ramps" los cuales se pueden ver en la *ilustración número 48*, para estos dos se pueden realizar ajustes en los parámetros en el firmware para que de esta forma, en lugar de empezar a trabajar cuando el termistor detecta un exceso de temperatura (extrusor) empiece a funcionar en el momento en el que la máquina se activa, de la misma forma que el ventilador de la "Ramps", evitando de antemano sobrecalentamientos evitables.

CONTROL DE LA PANTALLA LCD

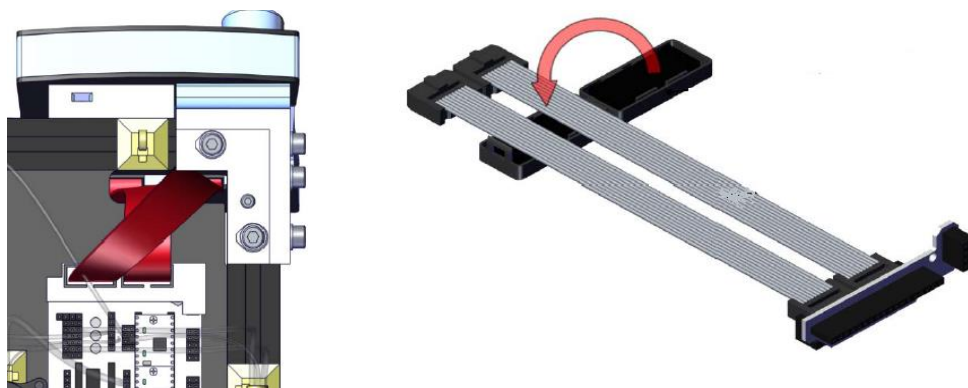


Ilustración 57 : Instalación pantalla LCD, Funcionamiento proyecto RepRap. Fundació CIM.

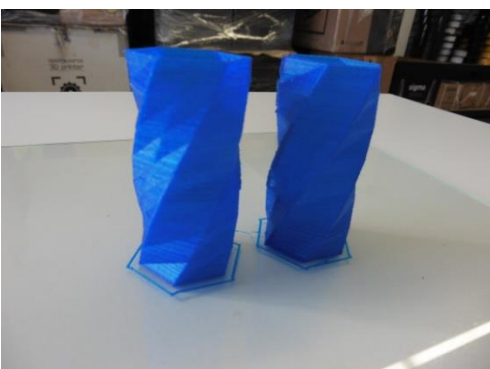
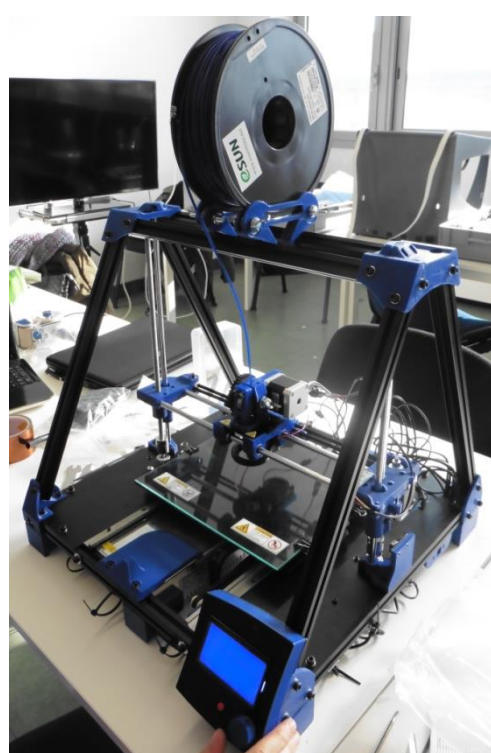
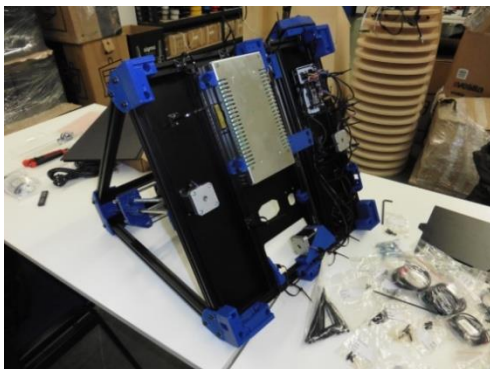
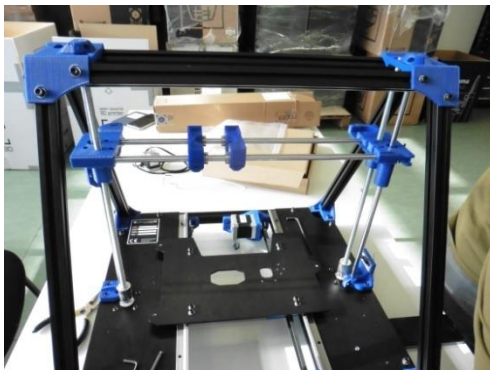
Con tal de poder gobernar la impresora, es necesario que la pantalla "LCD" este conectada a la placa "Arduino", de esta forma poder enviar las ordenes directamente al centro de mando y así poder enviar a todos los periféricos las instrucciones pertinentes.

La pantalla consta de dos conectores ambos numerados, el número 1 es el encargado de dar la capacidad a esta pantalla de gobernar a la impresora y poder imprimir en caso de tenerla conectada vía USB con el PC y el otro, el terminal número 2 sirve para enviar los datos desde una tarjeta SD y de esta manera conseguir que la impresora pueda imprimir desde un archivo externo el que puede ser colocado en el puerto de la pantalla. El conexionado desde la pantalla hasta la "Ramps" se realiza mediante un cableado plano con un adaptador en la parte que va conectada a la "Ramps", de esta forma tal y como se puede ver en la *ilustración número 49* hacer el conexionado mediante "pineado".

Acto seguido, una vez realizado el conexionado se debe ajustar el "Firmware" del "Arduino" y indicar que tipo de pantalla se está utilizando ya que no todas funcionan de la misma manera.

3.2. REPORTAJE FOTOGRÁFICO DEL MONTAJE DE LA BCN3D+

Con tal de esclarecer el proceso de montaje que se ha llevado a cabo, se aporta un reportaje fotográfico donde gracias a la Fundació Cim se ha podido lograr dicho objetivo.



CAP 4. LA REPERCUSIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SISTEMA DE MERCADO ACTUAL

4.1. ECONOMÍA Y PRODUCCIÓN, UN MERCADO EN DECADENCIA

El objetivo final del presente trabajo consiste en conocer como sería el impacto de la entrada de las tecnologías de impresión 3D dentro del sistema de mercado actual, concretamente en el sector más próximo, el sector de la construcción. Pero, ¿Es realmente necesaria la aparición de las nuevas tecnologías en los procesos de producción actuales? Para poder averiguarlo es necesario entrar en un contexto a nivel de crecimiento económico tanto a escala mundial como español.

A partir de estudios realizados por las consultoras "Boston Consulting Group (BCG)" y "Mckensey and Company" ambas consultoras estratégicas a escala mundial, siguiendo datos facilitados por el banco mundial (WB) se puede afirmar que en los últimos 50 años el crecimiento económico a nivel mundial ha dejado de crecer y se ha estancado dando lugar a serios conflictos.

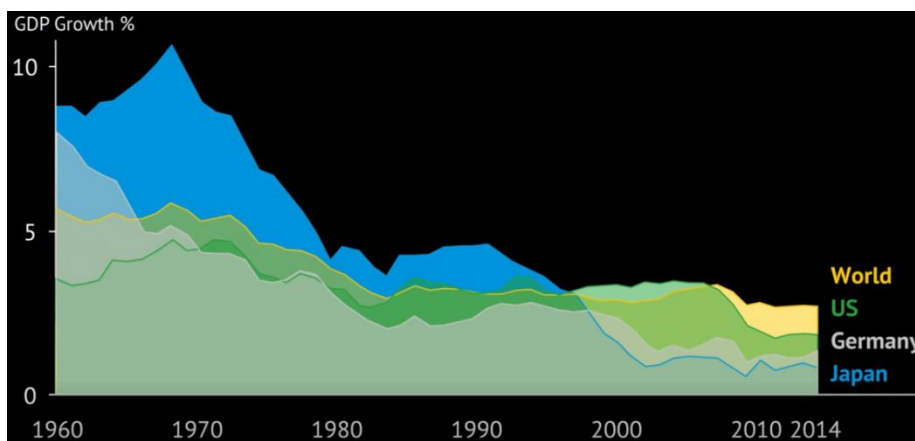


Ilustración 58: Diagrama de crecimiento económico a nivel mundial y principales potencias. Boston Consulting Group.

El concepto de crecimiento económico "GDP Growth" se puede considerar como uno de valores analíticos más relevantes de la sociedad moderna ya que este parámetro determina el crecimiento de todo país en todos los sentidos y por ende, la manera en la que evolucionará una sociedad venidera. Observando la historia del crecimiento económico a nivel mundial, se ve que ha habido tres grandes momentos de crecimiento a lo largo de la historia.

1. Aparición del motor de vapor a mediados del siglo XIX.
2. El modelo de producción en serie a principios del siglo XX.
3. La primera ola de la Automatización en la década de 1970.

Conociendo esto, se llega a la conclusión de que para conseguir un crecimiento económico es necesario un cambio hacia una mejora en el sistema de producción ya sea mediante mayor mano de obra, inyectando capital o con mejoras relacionadas con la tecnología. Esta realidad no es nada nuevo para los más conocidos en el tema ni para las grandes empresas las que siempre han

intentado revitalizar este crecimiento económico pero nunca han propuesto un cambio radical y realmente innovador capaz de revertir la situación.

Un ejemplo de los cambios realizados son los siguientes.

1. Se han trasladado las fábricas a las afueras del país consumidor pero no con el fin de aumentar una producción más allá de aumentar las jornadas laborales sino para de esta forma conseguir abaratar costes en mano de obra y de esta forma conseguir un mayor beneficio vendiendo el producto al mismo precio. Esta es una fórmula que ha funcionado bien durante muchos años pero la realidad es que a medida que las sociedades se van modernizando, las brechas salariales nacidas de las diferencias en cuanto a nivel de vida se van regularizando y al final este sistema dejará de tener sentido. Esto está sucediendo en países como China donde debido al crecimiento económico del país según estudios en los próximos años, el coste de un productor en China acabará siendo equitativo al de uno de EEUU.
2. Se han hecho las fábricas más grandes y especializadas por productos siguiendo la idea de que de esta forma se podría producir más, almacenándolo y vendiéndolo según la demanda del momento. La idea no es descabellada pero trae consigo las dificultades de logística; stock y posteriormente el transporte hasta los puntos de venta.

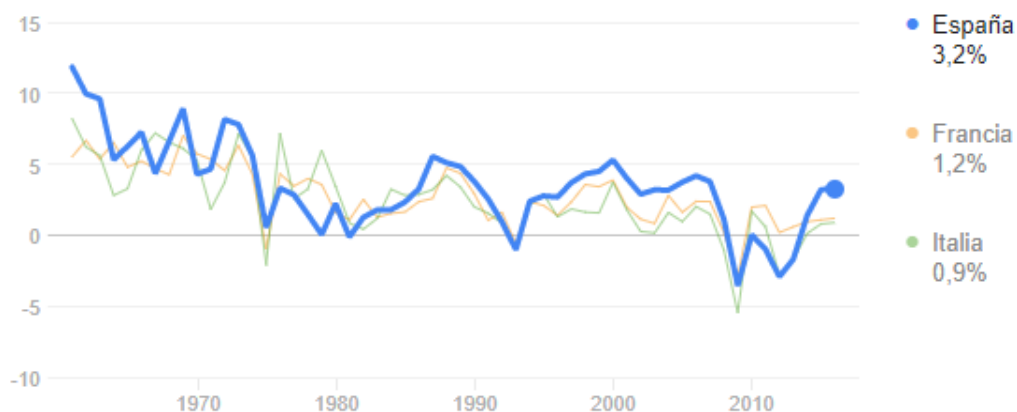


Ilustración 59: Gráfico de la evolución del PIB en España, Italia y Francia. Banco Mundial.

Lo mismo, incluso más acentuado sucede en España donde de la misma manera, tras la década de los 70', el crecimiento económico del país fue decreciendo hasta estancarse, incluso desembocando en la crisis que ha asolado España desde 2008. Tanto lo sucedido con las principales potencias mundiales como lo sucedido en España viene dado por la sencilla razón de que las grandes empresas, a pesar de tener apariencias distintas siguen trabajando de la misma forma que hace 50 años. Un modelo insostenible para siempre. Para poder analizar la importancia de la inversión en el desarrollo de mejoras en los sistemas productivos es interesante analizar las diferencias entre un modelo de

trabajo de un país con una baja inversión en tecnología y desarrollo en cuanto a producción y otro con una tendencia en crecimiento respecto a este tema. España por un lado y Alemania por otro.

Para medir la productividad de un país, se puede hacer de varias maneras, una de ellas es analizando su PIB per cápita, un valor que puede ser extrapolado para conocer la calidad de vida de un país ya que este concepto es a grandes rasgos la renta de cada individuo. Hay varios inconvenientes en calcular la productividad mediante este parámetro, uno de ellos es que no únicamente se centra en la población que se encuentra en la franja de edad "productiva" sino que tampoco tiene en cuenta ni el reparto del PIB en la población ni la influencia de los cambios políticos ni sociales en la calidad de vida, dando lugar a distorsiones de la realidad.

Otra manera de calcular la producción de un país es mediante la productividad laboral, esta viene dada por las horas trabajadas y por la productividad por hora trabajada, mediante este valor se hace una medición más precisa de la productividad de un país ya que se está calculando directamente una unidad de esfuerzo por productividad resultante, sacando en claro que si se han reducido las horas dedicadas al trabajo pero la producción general se ha mantenido quiere decir que ha habido un cambio en la forma de producir que viene originado por avances tecnológicos y por incrementos de la eficiencia en los proceso productivos.

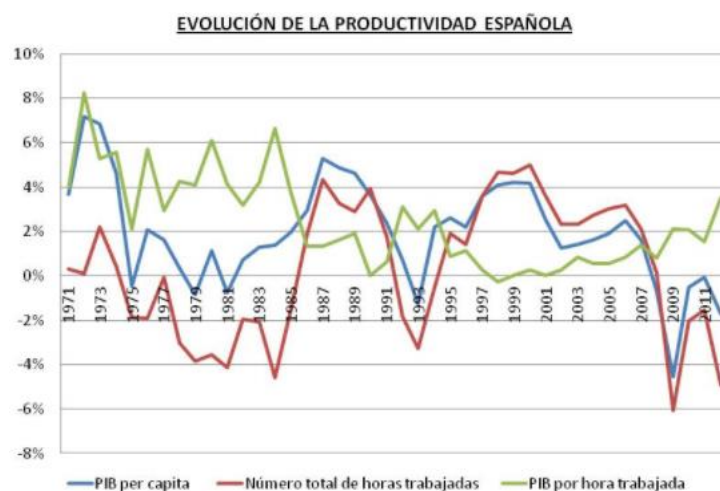


Ilustración 60: Evolución de la productividad en España mediante el PIB per cápita, PIB por hora trabajada y la cantidad de horas trabajadas. Datos de la Organización para la cooperación y desarrollo económico(OCDE)

Como se puede ver en la gráfica, debido a los cambios en los modelos de producción surgidos en la década de los 70', la renta per cápita estaba más relacionada con la productividad del trabajador que con las horas trabajadas, se puede apreciar en este momento como el rendimiento y productividad por hora era mucho mayor a la cantidad de horas trabajadas. Dado que el efecto de las mejoras no es duradero para siempre, el crecimiento se fue estancando a partir del 1985 y el PIB per cápita se aproxima en mayor forma a la cantidad de horas trabajadas pero la producción por trabajador se queda estancada hasta 2012 generando un incremento del PIB desde 1997 a 2007 del 0.43% mientras que las horas trabajadas aumentaron en un 3.38% y la renta per cápita en un 2.62% según datos de la OCDE.

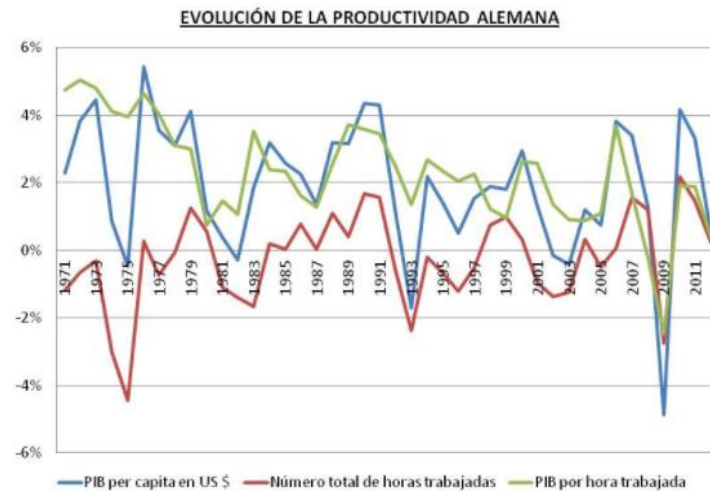


Ilustración 61: Evolución de la productividad en Alemania mediante el PIB per cápita, PIB por hora trabajada y la cantidad de horas trabajadas. Datos de la Organización para la cooperación y desarrollo económico (OCDE)

En contra parte, en el gráfico de evolución Alemana, se puede apreciar en este caso como la renta per cápita o PIB per cápita más allá de estar siempre relacionado en cierta medida con la cantidad de horas trabajadas, ha estado mayormente más unido a la productividad de cada trabajador.

Comparando el diagrama con el Español, en la misma franja temporal comprendida entre 1997 y 2012 se puede destacar que el aumento del capital Alemán se incrementó en menor medida que el Español, concretamente un 1.64% mientras que en España crecía un 3.38% pero si se tiene en cuenta la cantidad de horas invertidas, en Alemania se reducía en un 0.06% mientras que en España crecía un 1.73%, se puede llegar a una principal conclusión de que en un país en el que se invierte en sistemas los que se impulse el modelo de producción hacia nuevos avances como es el caso de Alemania para incrementar en 1% su PIB se debe incrementar la cantidad de horas trabajadas en un 0.53% mientras que en uno el cual se ha quedado estancado en los avances productivos como es el caso de España, para incrementar su PIB un 1% se necesita un aumento de las horas de trabajo del 1.17%. Por tanto gracias a las políticas económicas Españolas y en ocasiones la baja calificación de los licenciados Españoles se puede determinar sin ninguna duda que si no se invierte en producción, el PIB per cápita y por tanto la calidad de vida vendrá directamente relacionada con la cantidad de horas trabajadas y por tanto con el sudor de los trabajadores, es decir un sistema igual al de hace 50 años atrás.

La realidad es que tanto en España como en el resto del mundo se ha fracasado tanto en el espacio de fabricación como en no prestar atención a los cambios tecnológicos. Muchas empresas se han dado cuenta de este error y afirman que la próxima revolución y cambio en el modelo de producción vendrá dado por la unión de estos dos conceptos, es decir por el desempeño de las nuevas tecnologías en los puestos de fabricación.

Estas tecnologías son:

1. Los avances en robótica, estos ya son programables y pueden trabajar conjuntamente con las personas, actualmente cubren únicamente el 8% de las actividades repetitivas en las fabricas.
2. La impresión 3D, hoy en día domina el plástico y ahora está trabajando en la industria metalúrgica. Estas dos industrias representan el 25% de la producción mundial.

El impacto de la unión de estos dos conceptos conjuntamente con otras nuevas tecnologías en desarrollo como la realidad aumentada y de otras ya consolidadas como la industria de los servicios móviles, los servicios de nueva de información etc. generarán un cambio hacia un mercado inteligente, más eficiente en el transporte y con una libertad de diseño como nunca se ha visto.

4.2. LA IMPRESIÓN 3D, UN NUEVO MODELO DE MERCADO

Llegados a este punto y con la experiencia de haber trabajado con impresoras a pequeña escala como es el caso de la BCN3D+ se puede afirmar que aún con el avance en la impresión 3D que se ha llevado a cabo desde que fueron liberadas de sus patentes la capacidad de mercado de este tipo de máquinas es inimaginable. Este tipo de impresoras a pequeña escala puede generar un cambio radical en la forma en la que se entiende la gestión de stock o mejor dicho provocar la desaparición del concepto de Stock tal y como se conoce.

Actualmente dentro de una empresa existen tres tipologías de Stock principales, el almacenamiento de materias primas, el de productos en curso y el de productos terminados. Ocurre que dentro de una empresa se den diferentes situaciones las que dan lugar a variaciones dentro del propio stock.

Las diferentes tipologías que derivan de las tres principales se pueden resumir en las siguientes:

1. Stock de base: Es la media de la reposición de cada producto.
2. Stock de seguridad: Este stock nos garantiza existencias en caso de mucha demanda o de falta de previsión.
3. Stock Estacional: Es aquel que guarda todos los elementos que serán previsiblemente vendidos en estaciones concretas
4. Stock para atender pedidos especiales: El cual contiene elementos con un diseño fuera de lo común y bajo pedido.
5. Stock Administrativo:
 - 5.1. Stock de ciclo: El stock del día a día de un comercio, de venta cotidiana.
 - 5.2. Stock de presentación: El que se encuentra a primera línea de venta y es el primero que el cliente ve.
 - 5.3. Stock en tránsito: El stock que está en camino.
 - 5.4. Stock de productos defectuosos o rotos.

Como se puede ver existe una gran variedad de tipologías de stock lo que lleva consigo problemas como son:

1. Aparición de un Stock muerto, donde se encuentran todos los elementos con roturas o defectuosos.
2. Costes de almacenaje como son los gastos de calefacción o refrigeración, costes de personal.
3. Costes financieros como son el alquiler del recinto o la compra del solar
4. Pérdida de valor ya sea porque no se le ha dado salida suficientemente pronto o se ha producido en masa y actualmente se encuentra en desuso o fuera de los gustos.
5. Problemas con el coste, eficacia y disponibilidad del transporte.
6. Mala praxis o mala gestión del stock lo que puede desembocar en una rotura del stock, término que a grandes rasgos significa el volumen de demanda solicitada por el cliente y no satisfecha lo que acarrea consigo sobrecostes como: costes por venta no realizada, costes de transporte urgente, costes administrativos y desgaste comercial ante el cliente.

El trabajo conjunto entre el avance de la robótica, la impresión 3D, las funciones de la nube de datos y de la telefonía móvil entre otras, traerá consigo un cambio macroeconómico en el futuro donde a diferencia de la situación actual, las fabricas tal y cómo se conocen dejaran de existir y dejarán de estar en las afueras para pasar a un modelo de mercado "Just in Time" de comercio-fabrica al mismo tiempo.

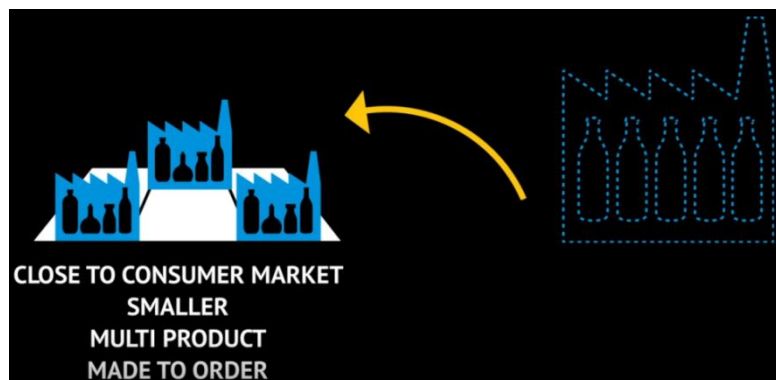


Ilustración 62: Cambio en el sistema de comercio a nivel mundial. Boston Consulting Group.

La tecnología 3D en el día a día traerá consigo libertad de diseño y simplicidad a la hora de fabricar productos complejos, esto provocara que la cercanía al consumidor sea la prioridad, de esta forma se pasara de un sistema de comercio basado en una producción masiva a una situación donde el cliente será quien genere el producto y el punto de venta será quien lo produzca, reduciendo este amplio abanico de posibilidades en el stock a uno simplemente donde se encuentre materia prima para abastecer a las máquinas y otro de producto terminado a la espera del cliente.

Esto es únicamente la punta del iceberg, el cambio que traerá consigo será radical. Hoy en día compañías como NIKE ya trabajan en prototipos de zapatillas realizadas exclusivamente con material 3D reproduciendo modelos ya existentes pero con las mismas propiedades mecánicas y lo más importante, reduciendo tiempos de entrega. Por otro lado, la NASA actualmente, una de las pieza más complejas de fabricar para sus aviones tripulados con las que realizar misiones espaciales como es el caso del inyector de combustible ha dejado de fabricarse de manera tradicional y hoy en día

únicamente se hace mediante impresión 3D ya que suponía tener que fabricar 20 piezas de distintos materiales y posteriormente hacer que estas puedan unirse sin problemas, es decir traía consigo problemas donde actualmente mediante una impresora se puede reproducir la pieza entera dando lugar a sola unidad de un material resistente en todos los aspectos y con igual o mejor acabado.

Los aspectos más importantes que traerá consigo la impresión 3D serán los siguientes.

	Implications for individuals and societies			Implications for established businesses and other organizations				Implications for economies and governments			
	Changes quality of life, health, and environment	Changes patterns of consumption	Changes nature of work	Creates opportunities for entrepreneurs	Creates new products and services	Shifts surplus between producers or industries	Shifts surplus from producers to consumers	Changes organizational structures	Drives economic growth or productivity	Changes comparative advantage for nations	Poses new regulatory and legal challenges
3D printing											

Ilustración 63: Tabla del impacto económico, en el negocio y en la sociedad. "Disruptive technologies Advances that will transform life, business and the global company". McKinsey Global Institute analysis.

Como se puede apreciar en la *ilustración número 63*, se puede clasificar el impacto de la impresión 3D en tres modalidades distintas: El impacto para la sociedad, el impacto para el negocio y su organización e impacto para las economías y el gobierno. Dentro de estas modalidades los más relevantes son los siguientes

- **Impacto para la sociedad:** En este sentido, la mejora en bienestar es significativa donde los avances en materiales han provocado que actualmente a partir de un simple escaneo se puedan hacer audífonos o dentaduras a medida y gracias a las bioimpresoras poder reproducir piel humana para el tratamiento de quemados, la fabricación de órganos completamente funcionales y sin ningún tipo de rechazo por parte del paciente o la producción de prótesis de miembros perdidos. Por otro lado, la optimización y la precisión de la impresión 3D han provocado que a parte de un impacto económico debido a la reducción en pérdidas por merma haya supuesto una mejora para el medioambiente. Finalmente, debido a la libertad de diseño, se pasará de trabajar para traer un producto estandarizado diseñado a partir de modas o estudios de mercado a una situación donde los diseñadores serán los propios clientes, de esta manera tener un mercado mucho más flexible y eficiente que satisfaga las necesidades del cliente al cien por cien.
- **Impacto en los negocios:** La libertad de diseño, la reducción en costes de personal, en costes de almacenamiento, en transportes, en marketing, estudios de mercado traerá consigo un impacto para la creación de nuevos negocios. Dado que el cliente ya traerá el producto prácticamente diseñado, el abanico de nuevos productos y servicios será igual de amplio que las necesidades del cliente y al ser un tipo de negocio donde prácticamente la única función será ser la mano ejecutar de un producto ya pensado hace que las oportunidades de negocio únicamente estén limitadas por la imaginación del emprendedor. Será un cambio que transformará a la gente de consumidores a productores.

- **Impacto para las economías:** Según un estudio realizado por la consultora "Mckensey and Company" la estimación del impacto económico para 2025 está valorado en 230 billones - 550 billones de dólares.

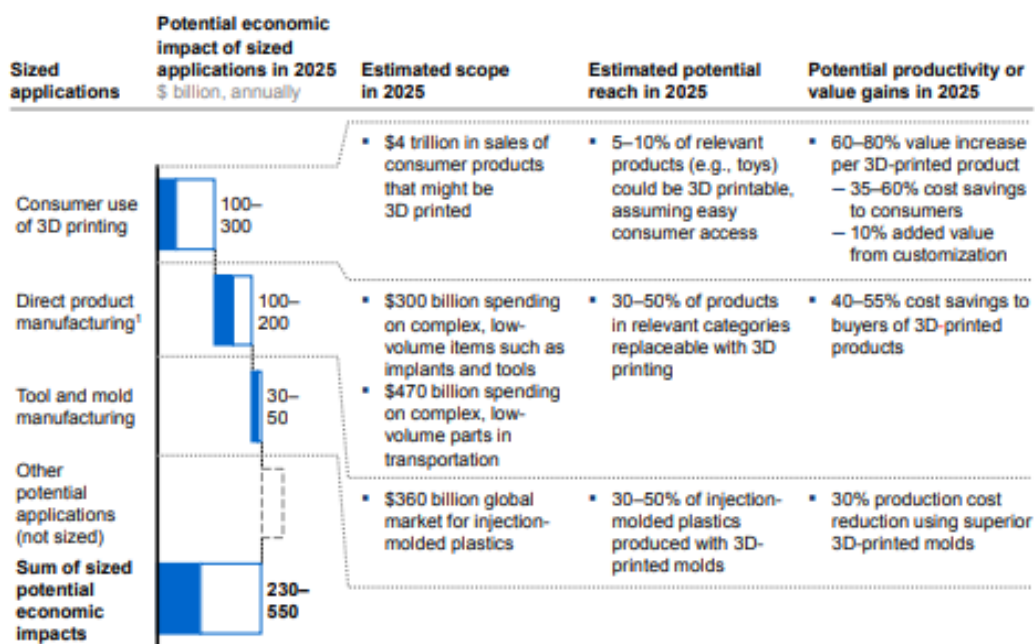


Ilustración 64: Impacto económico de la impresión 3D en el mercado para el año 2025. Mckinsey and company Global Institute Analysis.

Se ha comprobado que los principales focos de actividad serán "el uso del consumidor" con una repercusión económica de 100-300 billones de dólares donde el propio consumidor diseñará sus propios productos para satisfacer sus necesidades. Por otro lado, "la fabricación directa" de productos por parte de las empresas con un impacto económico de 100-200 billones de dólares. Finalmente, el uso de la "impresión 3D para la fabricación de moldes" para posterior fabricación de productos a partir de los sistemas tradicionales donde la repercusión será de 30-50 billones de dólares, en este campo se espera que aún para 2025 el sistema de producción principal sea la fabricación por inyección aunque se estima que trabaje conjuntamente con la impresión 3D como proceso de integración. Como dato, se especula que para esas fechas el 30%- 50% de los moldes serán impresos.

Actualmente estas actividades ya son una realidad ya que según datos del mercado, en 2016 se vendieron 1.000.000 de audífonos personalizados a medida y 40.000 cabezas de cadera únicamente en España. Por otro lado, compañías como Boeing, en su proceso de fabricación la impresión 3D estaba tan integrada que 200 piezas de uno de sus modelos estaban hechas a partir de esta tecnología. Las razones de este impacto es que la impresión 3D es un 40%-50% más económica que la tradicional.

4.3. LA IMPRESIÓN 3D DENTRO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Sabiendo la situación actual de esta tecnología aparecen preguntas como "¿Cómo se podría aplicar esta tecnología en el sector de la construcción?" o "¿Realmente hoy en día se está lejos de poder hacer grandes construcciones de manera cotidiana a partir de tecnología de impresión 3D y desbancar totalmente la industria del ladrillo?"

Los principales inconvenientes que impiden esta transición son: El tamaño de las impresoras, la velocidad de impresión, la compatibilidad de materiales, el precio de las máquinas y la resistencia mecánica debido al proceso de impresión capa a capa. Aunque es cierto que el precio de esta tecnología tiene tendencia a disminuir, actualmente las máquinas de tamaño "industrial" a nivel empresa oscila entre 73.000 euros y 1.000.000 de Euros mientras que las domesticas oscilan entre 1.000 Euros y pueden llegar hasta los 30.000 Euros. Mientras que el precio del filamento plástico en países donde esta tecnología ya es una realidad como China es únicamente 5 veces mayor que los plásticos utilizados para la producción industrial. Por esta razón, hasta que realmente no sea una opción viable a gran escala es complicado que se pueda hacer una inversión en un sector con procedimientos muy arraigados.

OBRA CIVIL

Más allá de todas estas razones existen proyectos ya en marcha con los que se puede ver donde si realmente hubiese un avance en los materiales y en las máquinas se podría llevar a cabo cualquier proyecto. Un ejemplo es el proyecto de "SMART BRIDGE" llevado a cabo por la empresa MX3D.



Ilustración 65: Proceso constructivo proyecto "SMART BRIDGE" en Ámsterdam. MX3D.

Se trata de un puente de acero inoxidable de 12 metros de largo diseñado por el "Alan Turing Institute" conjuntamente con Autodesk y el "Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions" impreso a partir de deposición por energía directa situado en uno de los canales más antiguos del centro de Ámsterdam. El puente ha sido construido realizando piezas de 1 metro aproximadamente de longitud y posteriormente ensambladas entre sí. Finalmente, colocado en su ubicación.

Este proyecto es muy interesante ya que se puede ver como se eliminan todo tipo de barreras y que realmente no existen limitaciones más allá que las auto impuestas. Trabajando con acero inoxidable, formas que si se hubieran hecho mediante técnicas convencionales se hubieran necesitado meses y meses de trabajo en manos expertas se puede realizar en días con un mejor acabado y sin pérdidas de material utilizando un diseño realizado por ordenador e impreso mediante técnicas 3D.



Ilustración 66: Diseño del proyecto "SMART BRIDGE" en Ámsterdam. MX3D.

OBRA NUEVA

Por otro lado, hay de otros que han ido un paso más allá, este es el caso de la empresa "APIS COR", esta empresa ha diseñado su propia máquina de impresión 3D capaz de imprimir pequeñas viviendas particulares.



Ilustración 67: Proyecto de vivienda unifamiliar realizado con la Impresora 3D propiedad de la empresa "APIS COR". Manual instalación e implantación de la Apis Cor 3d Printer.

El aumento progresivo de la población ha provocado que el porcentaje de personas sin posibilidad de acceder a una vivienda sea un valor mucho más significativo, por ende, con tal de dar respuesta a este problema y poder fabricar viviendas asequibles reduciendo costes en la construcción la compañía "Apis Cor" ha desarrollado la primera impresora 3D de coordenadas polares capaz de construir una vivienda desde el interior a diferencia de las impresoras de portal. Este tipo de impresoras siguen el modelo de la BCN3D+ pero a una escala mucho mayor.

Se han llevado a cabo varios proyectos en China con este tipo de impresoras de portal pero todos ellos a pequeña escala, es decir, pequeñas casetas con función de oficinas. Este tipo de impresoras llevan consigo gran cantidad de problemas, es un ejemplo su instalación la cual debe hacerse en un terreno perfectamente plano y firme para la horizontalidad de sus raíles ya que si no están perfectamente alineados imposibilitarían el trabajo de la máquina, por otro lado, su transporte y sus limitaciones a la hora de estandarizar un tamaño para todo tipo de viviendas hace que su uso quede restringido a elementos independientes de la edificación en el interior de fabricas. Por contra parte, las impresoras que permiten una impresión desde el interior como es el caso de la "Apis Cor 3D Printer" permiten eliminar muchas de las limitaciones anteriormente comentadas, pueden ser transportadas en un único tráiler, vienen ya montada únicamente a la espera de recibir el diseño y aporte energético y una vez finalizada su tarea su retirada se realiza de la misma manera.

Pero ¿Cómo funcionan este tipo de máquinas? y sobretodo ¿Qué puede significar la impresión mediante estas máquinas en comparación con los procedimientos tradicionales?

Para poder responder estas preguntas, es necesario analizarlo como si de una línea temporal se tratara, viendo todos los pasos por los que pasa una edificación. Se analizará y se podrán ver las diferencias desde el proceso de fabricación del material de construcción hasta la entrega de la vivienda. Los principales puntos en los que la impresión 3D destaca por encima de la construcción tradicional son los siguientes:

- Rapidez de ejecución
- Sencillez
- Reducción de mano de obra por tanto reducción de fallos de ejecución derivados del factor humano.
- Reducción de la merma y generación de residuos resultantes del proceso de construcción.

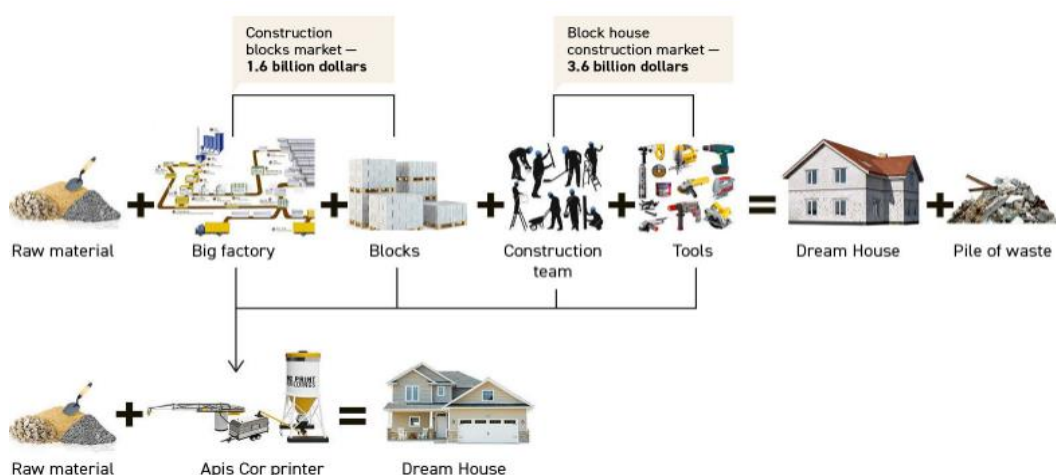


Ilustración 68: Comparación entre el sistema constructivo convencional y el sistema constructivo mediante impresión 3D. Proceso constructivo mediante impresora "Apis Cor 3d Pirnter". Compañía Apis Cor.

- Materiales

En el sistema de construcción tradicional intervienen infinidad de materiales, los cuales están ligados a la disponibilidad del industrial, esto provoca que no siempre se pueda disponer de inmediato de un elemento o producto lo que condiciona al resto de la construcción dando lugar a retrasos en la fecha de entrega. Esta coordinación permanente y esta necesidad de continuo contacto con el industrial queda reducida con la impresión 3D la que en este caso mediante el sistema de impresión diseñado por "Apis Cor", a través de un silo conectado a la máquina cargado con el material de impresión el que puede tratarse de una mezcla seca de geopolímeros conocidos por ser buen sustituto del cemento Portland o en su defecto cemento reforzado con fibras se tendrá suministro constante y sin necesidad de parar la obra. El suministro del material se hace en polvo, este pasa del silo a un dispositivo conocido como "Mobile Automated Concrete" o "MAC" el que con un conexionado a la red pública tanto energético como de agua, se encargará de realizar la mezcla y de bombear el producto.

- Transporte

En la mayoría de ocasiones, las fábricas productoras del material se encuentran a las afueras provocando que cada suministro de material se tenga que realizar organizando un transporte. Esto crea otra servidumbre más allá que la que provoca depender de un industrial. Actualmente muchas obras se deben al tráfico para recibir productos lo que puede dar lugar a errores y a retrasos por la falta de recursos o por falta de organización. Con esta tecnología al reducirse las cantidades de material utilizadas el coordinador de la obra puede centrarse en el suministro de un único material y con un único industrial de esta forma lograr tener una planificación más precisa. Por otro lado, en el caso de que se dependiera de un elemento en especial de una casa fabricante en concreto, si en la obra ya se tiene material de impresión, únicamente se necesitaría un diseño realizado por el fabricante y enviarlo vía online. Posteriormente, "insitu" se le podría enviar la orden de imprimir a la impresora evitando desplazamientos de operarios, material, mano de obra para el montaje etc. Para este tipo de impresoras, La entrega de la maquinaria se efectúa mediante camión, ninguno de los elementos que conforman el equipo de la máquina supera los 6m de longitud, el elemento de mayor tamaño es el silo con una altura de 5.4 metros mientras que la propia impresora mide 4.00 metros y el equipo de bombeo 3.60 metros. El peso máximo de la entrega sería 3 toneladas.

- Construcción

Si se compara únicamente una fase de la propia obra como por ejemplo sería el capítulo de cerramientos y albañilería se presentan varios problemas que deben ser solventados. Comenzando por el acopio de material, no muchas obras disponen de un gran espacio de acopio lo que hace que se tengan que planificar tiempos de entrega de una forma eficiente para no tener operarios parados ni retrasos. Por otro lado, hoy en día el replanteo de las paredes se hace manual es decir de una forma tradicional a partir de metro, azulete y interpretación de planos del operario o técnico, una vez replanteadas las divisiones, paredes que prácticamente siempre acaban no siendo medidas exactas a las de plano por error del factor humano o por errores en el capítulo de estructura es necesario "levantarlas", repitiendo procesos de azulete y comprobación de la verticalidad del paño. Este

proceso requiere de una mano experta y de mucha rectificación además claro está que se debe ajustar en muchas ocasiones la pieza cerámica a las medidas de la obra, necesitando romper la pieza y generando merma y residuos. En contraparte, mediante la impresión 3D el proceso se reduce a preparar el paramento, programar y cargar el archivo e imprimir.

Los pasos previos o preparación del paramento:

- Dependiendo del terreno, quizás el industrial que traiga la impresora solicita la instalación de una pequeña zapata para el silo y para la instalación de la propia impresora, todo dependiendo del estado del terreno. La principal diferencia con la instalación de grúas tanto mono mástiles como bimástiles es que este tipo de máquinas no necesita de conexión a la cimentación ya que ellas mismas mediante su control de gravedad se auto estabilizan.
- De la misma forma que se necesitará de una base firme para empezar a trabajar, para la instalación del equipo será necesario un cierto nivel de planeidad, esto se puede lograr mediante bulldozer, niveladora o con la propia solera del parking. No tiene nada que ver con las impresoras de portal, en este tipo de máquinas la diferencia de nivel admisible es de 10cm y una inclinación de 5 grados ya que ellas pueden auto nivelarse.
- Antes de empezar a trabajar, será necesario marcar un punto 0 o origen en alguna de las esquinas. Desde este punto la impresora comenzará a leer el modelo CAD y comenzará a imprimirlo. Por otro lado, el operario encargado de la gestión de la máquina monta el equipo de ultrasonido en el extrusor para poder leer la superficie. Mediante, este punto origen y este sensor, la máquina hará una lectura del terreno, creando un mapa virtual posteriormente fijándose los parámetros y ajustes necesarios para poder imprimir con precisión.

- Impresión:

La impresora estará colocada en la cota cimentación, por tanto se empezará con la impresión del encofrado, una vez realizado el contorno de las zapatas, la impresión se detendrá y se deberá armar la cimentación como indique proyecto.



Ilustración 69: Armado y relleno de la cimentación mediante hormigón, Documentación técnica del proceso constructivo mediante la Apis Cor 3D printer. Compañía Apis Cor.

Una vez se haya armado correctamente, se procederá al vertido de hormigón que dependiendo de las dimensiones y de la estructura de la obra se podrá hacer mediante cubilote o bombeo. Son interesantes los refuerzos necesarios y conectores encargados de dar monolitismo al conjunto también ver como mediante esta tecnología se pueden dejar paso para las instalaciones como por ejemplo el saneamiento.

Es interesante a nivel de encofrado y estructura como se deben colocar entibaciones horizontales cada 30 - 40cm para garantizar la verticalidad del encofrado, por otro lado de la misma manera que en la construcción tradicional se dejan esperas para lograr transmitir esfuerzos a los elementos de cimentación y conseguir un monolitismo en la construcción. Estas esperas son un tanto distintas pero con la misma función, estas conexiones se colocan en cada esquina del proyecto y se colocara mayor número en paños con una geometría compleja como es el caso del arco.

En estas zonas será donde se vayan a disponer los pilares que dotarán al conjunto de una mayor resistencia a compresión, estos irán armados interiormente tal y como se ve en la *ilustración número 70* y posteriormente irán embebidos en hormigón.

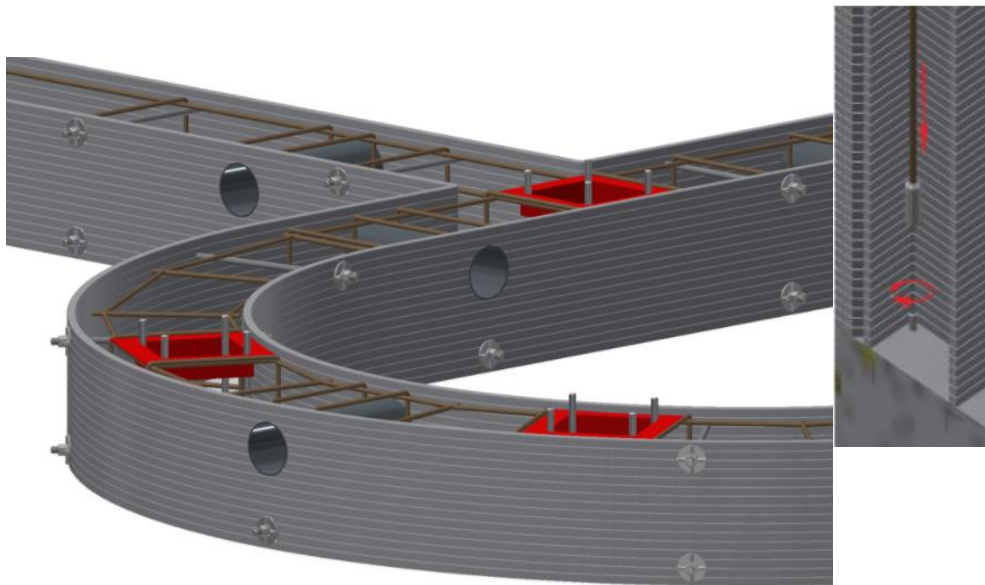


Ilustración 70: Esperas y armado de pilares en una construcción 3D, Documentación técnica del proceso constructivo mediante la Apis Cor 3D printer. Compañía Apis Cor.

La cimentación que se acaba de imprimir al estar enterrada en el terreno, esta debe estar protegida ante filtraciones de agua por esta razón, de la misma forma que se protegen los muros de sótano mediante lona plástica o pintura asfáltica en la construcción tradicional, también se debe hacer en este tipo de construcciones. Por otro lado, el fabricante de este tipo de máquinas recomienda que se coloque una imprimación en la parte superior de la cimentación una vez esta este impresa ya que como las paredes van a ir directamente sobre esta, que esta imprimación actúe como barrera para que en el caso de que esta cimentación tenga filtraciones de agua poder evitar que suba hacia las paredes por capilaridad.

El método de impresión de las paredes es muy parecido al que se ha llevado a cabo en la impresión del encofrado de la cimentación, la única diferencia es que ahora se cuenta con conectores entre laminas.

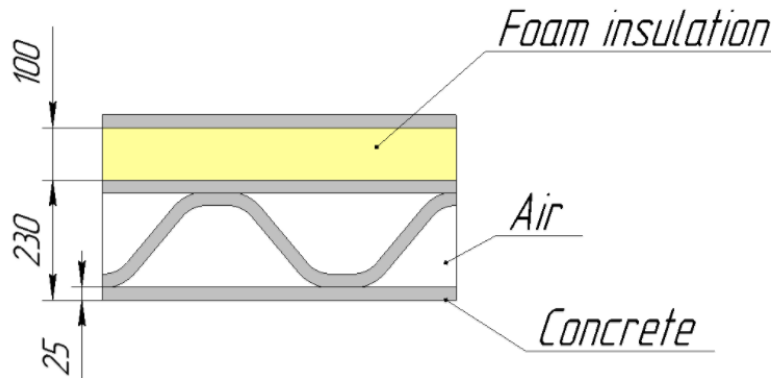


Ilustración 71: Composición de cerramiento exterior en un proyecto de vivienda a partir de impresión 3D. Documentación técnica del proceso constructivo mediante la Apis Cor 3D printer. Compañía Apis Cor.

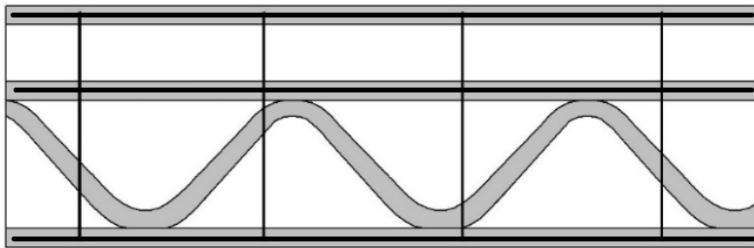


Ilustración 72: Disposición del armado interior de las paredes. Documentación técnica del proceso constructivo mediante la Apis Cor 3D printer. Compañía Apis Cor.

Tal y como se ha comentado en el apartado donde se explicaban las diferentes tipologías de impresión 3D, prácticamente la totalidad de ellas realizan su impresión por capa y por tanto traen consigo problemas en cuanto a resistencias respecto los esfuerzos de tracción. Lo mismo ocurre en esta construcción ya que responde claramente al sistema de impresión por deposición fundida. Por esta razón son necesarios elementos que doten de un plus de consistencia y monolitismo como es el caso de los conectores que se puede ver en la *ilustración número 71* y las armaduras transversales, visibles en la *ilustración número 72* las cuales se colocan cada 50-60cm a lo largo del paño vertical para de esta manera solventar en cierta medida este déficit mecánico.

El grosor de este conector es de 1.5cm aproximadamente pero puede ser perfectamente modificable, se va imprimiendo simultáneamente con el resto de capas que conforman la pared y se encarga de dar resistencia y monolitismo al paño, por otro lado, esta distribución de espacios puede ser totalmente modificable ya que como en todas las impresoras 3D domesticas la opacidad del interior de todo producto es totalmente regulable, creando de esta manera un cerramiento de hormigón auto portante que trabaja como un mismo bloque y es capaz de transmitir cargas hasta la cimentación. En cuanto a criterios térmicos, mediante esta libertad de diseño, se pueden hacer las particiones que sean necesarias con las que a partir de un estudio de condensación se pueda elegir si colocar un aislamiento en la parte interior o en la parte exterior como se puede ver en la *ilustración*

número 71. Este aislamiento puede ser proyectado o mediante planchas de lana de roca, fibra de vidrio etc. o incluso decidir si se hace una hoja ventilada o no. La libertad y la facilidad de diseño es predominante por tanto todos estos criterios responderán a cálculos térmicos.

Otras de las virtudes de este tipo de tecnologías es que es totalmente compatible con los sistemas de construcción tradicionales, en el caso de las instalaciones, para el instalador será mucho más fácil el paso de las mismas pues no habrá necesidad de hacer regatas y tener que masillar, lijar y pintar puesto que la máquina ya dejara los pasos de instalaciones preparados para ser masillados al acabar la obra y de esta forma poder dar el acabado que se desee ya sea pintado o empapelado, por otro lado la solución para los dinteles de las aperturas en fachada se pueden hacer mediante forma convencional de elementos prefabricados o simplemente se puede reforzar esta zona con mayor armado y continuar con la impresión.

Una vez finalizada la primera altura de la vivienda, como se está trabajando con un sistema de construcción muy ligero, si se desea construir una siguiente planta es posible. La máquina solo se ha de desconectar y se debe colocar en el piso sobre el que se quiere imprimir nuevamente, este suelo o techo puede ser de losas huecas de cemento prefabricadas que se ensamblan y se encajan directamente con las esperas previstas (*ilustración número 70*), una vez colocado se vuelve a instalar la máquina encima para repetir el proceso una vez más. Es importante que se tenga previsto en el armado del forjado del siguiente piso el peso propio de la máquina ya que aunque sea un peso temporal se deberá prever.

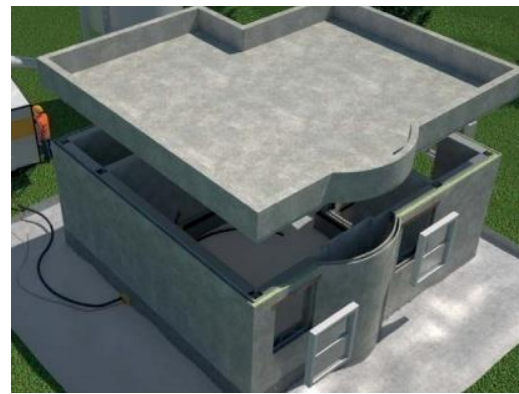


Ilustración 73: Proceso de conexionado de una terraza o de un segundo piso mediante sistema de esperas, Documentación técnica del proceso constructivo mediante la Apis Cor 3D printer. Compañía Apis Cor.

- Recogida de material y maquinaria.

Mientras que mediante técnicas de construcción convencionales se genera gran cantidad de residuos los que deben ser acopiados y tratados apropiadamente para cumplir con las normativas urbanísticas con todos los gastos que esto conlleva, mediante este sistema de construcción debido a la precisión prácticamente milimétrica que permite, estos residuos son prácticamente nulos reduciendo enormemente los costes indirectos derivados de una obra como son los costes de su gestión y permitiendo un aprovechamiento mayor del solar a más a de ganar en seguridad en obra.

Al comparar ambos procesos constructivos la empresa "ApisCor" recoge una serie de datos esperanzadores pensando en que en un futuro esta tecnología podrá tomar parte en los procesos constructivos ya que la inversión en ella será económicamente viable. Estos datos son los siguientes:

- La velocidad de fabricación de una vivienda mediante impresión 3D es 6 veces superior en comparación con el sistema convencional.
- La cantidad de material utilizado es mucho menor. Como relación se encuentra la siguiente, si se lleva a cabo una construcción a partir de bloques de hormigón, se puede edificar la misma cantidad de superficie con 1 metro cúbico de bloque de cemento que con 0.267 metros cúbicos de mezcla para producir el producto de impresión 3D, es decir una reducción tanto de material como de zona de acopio y transportes etc...
- Esta reducción en material se traduce en una reducción de hasta un 4 % en gastos de transporte.
- Reducción de costes generales: 15 % de reducción en los procesos de encofrado, 25 % más económico en el capítulo cerramientos y albañilería, reducción del 20 % en instalaciones y servicios ya que los huecos se dejan previstos en el diseño del proyecto y se evita la realización de regatas, masillar, lijar y pintar y menos un 30 % en los aspectos de logística.

Todos estos datos dan un valor destacado, la reducción del coste de construir mediante Impresión 3D es un 65 % más económico en comparación con la construcción mediante bloques de hormigón donde únicamente en estructura se reduce en un 40 % de la reducción total.

REHABILITACIÓN

El impacto en obra nueva es enorme pero ¿Cómo se podría aplicar esta tecnología en el campo de la rehabilitación?

Hoy en día es el campo de la construcción en el que esta tecnología tiene más fuerza ya que a partir de una impresora domestica como la BCN3D+ se puede lograr replicar un elemento con gran valor arquitectónico con total fiabilidad y con total lujo de detalle, por otro lado, la libertad de diseño que permite la impresión 3D da lugar a que se pueda imprimir cualquier elemento necesario para hacer cualquier tipo de arreglo sin necesidad de que este esté en el mercado o sea compatible con el resto de elementos, evitando depender de un industrial para solucionar problemas de obra, únicamente tomando medidas "in situ" y diseñándolo vía ordenador.

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología en el campo de la rehabilitación está en la sustitución de ménsulas o todo tipo de ornamentas en fachadas deterioradas por el paso del tiempo o las inclemencias meteorológicas. Este hecho unido a la pérdida progresiva con el paso de los años de una artesanía manual como las de antaño hace imposible replicar este tipo de piezas con exactitud ya que prácticamente son piezas únicas elaboradas a mano.



Ilustración 74: Ménsula de fachada situada en el distrito antiguo Valencia. Trabajo sobre fotogrametría de objetos cercanos para la rehabilitación ornamental de edificios. David Sánchez. UPV.

Con las tecnologías actuales es posible a partir de toma de datos 3D mediante técnicas de luz no invasivas conseguir un cartografiado tridimensional de cualquier tipo de objeto, todo esto con una representación métrica y una texturización exacta a las del modelo original. Existen tres tipos de métodos para conseguir este tipo de datos:

- Luz estructurada.
- Escáner de triangulación
- Correlación fotogramétrica.

- Luz estructurada

Esta técnica también conocida como "luz blanca" o "luz pulsada" consiste en proyectar un patrón conocido de píxeles generados mediante luz en un escáner de manera que de la misma forma que un escaneo por ultrasonidos, es recogida la deformación de la luz al golpear con la superficie del objeto escaneado, de esta forma conseguir un mapa de puntos tridimensional. Este tipo de técnica se trata de un método directo, es decir, que se puede conseguir el mapeado tridimensional a partir de un escaneo y una triangulación fotogramétrica mediante un generador de luz que proyecta energía al entorno de estudio. Para llevar a cabo este sistema se necesita una cámara de video con la que mediante sensores "Charge Coupled Device (CCD)" o Dispositivo de Carga Acoplada convertir la luz que impacta en el objeto en voltaje analógico provocando de esta forma que sea cuantificable por el dispositivo en valores de "bits" y por otro lado la fuente de luz, que emite el patrón de luz binario sobre el objeto.

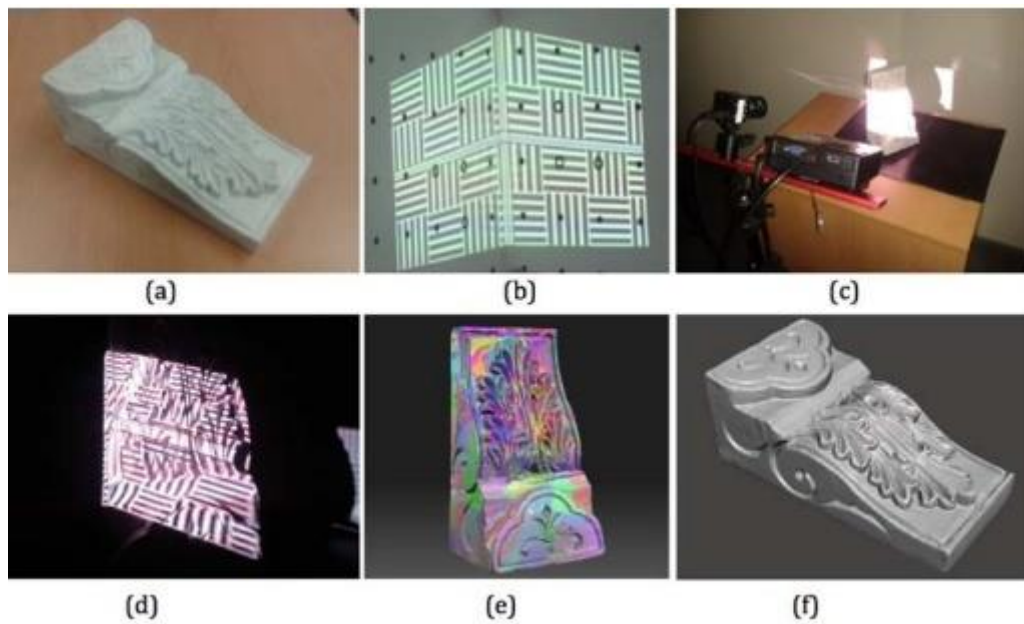


Ilustración 75: Proceso de obtención de mapeado tridimensional mediante la técnica de luz estructurada. Trabajo sobre fotogrametría de objetos cercanos para la rehabilitación ornamental de edificios. David Sánchez. UPV.

- Ilustración A: Objeto a digitalizar con el fin de ser substituido en la fachada.
- Ilustración B: Calibración del equipo para conocer los parámetros necesarios con tal de aplicar el método de cálculo de la triangulación.
- Ilustración C y D: Proceso de captación de imágenes del objeto, se realizaran las imágenes necesarias rotando el objeto hasta conseguir los datos necesarios.
- Ilustración E: Es la fusión de todos los datos tomados e introducidos dentro de un programa de diseño, cada color de la pieza marca de que imagen ha sido tomada.
- Ilustración F: Es el producto final listo para ser impreso por una impresora 3D como podría ser la BCN 3D+

Este tipo de técnica tiene la virtud de que da un grado de precisión extremadamente amplio, llegando a proporcionar una precisión de hasta 10 micras en los sistemas más sofisticados pero la principal desventaja es que se debe conseguir poder llevar la pieza a un laboratorio ya que se deben tomar las imágenes en un ambiente totalmente a oscuras.

- Escáner de triangulación.

El principio de este sistema de obtención de datos es idéntico al que se puede ver en la triangulación fotogramétrica en el sistema de luz estructurada, la principal diferencia es que en este sistema no se está proyectando de forma continua diferentes patrones de luz por lo que deja de ser considerado como un sistema activo. Este sistema tan solo emite un patrón fijo que puede variar según el tipo de instrumento que puede ser un proyector de luz laser, infrarroja o microondas.

En este tipo de sistemas se puede tener la variante de trabajar con un objeto fijo moviendo el escáner o mediante una cámara fija y hacer rotar el objeto. El sistema de captación puede ser de imágenes o de video, pudiendo llegar a una precisión superior en la toma de imágenes respecto al sistema de video de 15 a 20 micras, siempre inferior al sistema de luz estructurada pero tiene la virtud de que se puede equipar la cámara con una mira de topografía telescópica con tal de evitar la colocación de andamios ni escaleras en la fachada, tampoco tiene la necesidad de trabajar a oscuras ni en un ambiente controlado.

- Correlación fotogramétrica

Se trata del sistema con la menor resolución de los comentados ya que se puede llevar a cabo mediante cualquier cámara digital que se pueda encontrar en el mercado, siempre claro está con una resolución optima y mediante la utilización de programas informáticos como son un ejemplo "ReCap" de Autodesk o "123d Catch" de Autodesk que son capaces de interpretar la posición de los puntos tridimensionales del objeto haciendo de esta forma prácticamente todo el proceso fotogramétrico clásico por ellos mismos.

4.4. FLUJO DE TRABAJO

Una vez captadas todas estas imágenes, es necesario introducir estos datos en un programa informático que permita generar las directrices que debe seguir la impresora y con el que se pueda modificar cualquier aspecto de su geometría.

Este flujo de trabajo será idéntico tanto en el caso de replicar un modelo captado por escaneo como si se desea realizar mediante diseño 3D personalmente para cualquier modalidad de impresora. Como se puede ver en la *ilustración número 76* se parte del diseño de un modelo CAD desde el que se podrá crear o modificar y editar la pieza que se desee imprimir o reproducir, hay amplia modalidad de programas con los que llevar a cabo el diseño del producto, pueden ser comerciales como Solidworks o Catia o totalmente gratuitos como 123D Google, Sketchup etc. El abanico de selección del programa de modelado es muy amplio, la única limitación existente es que este debe permitir la exportación del diseño 3D a un formato de archivo STL.

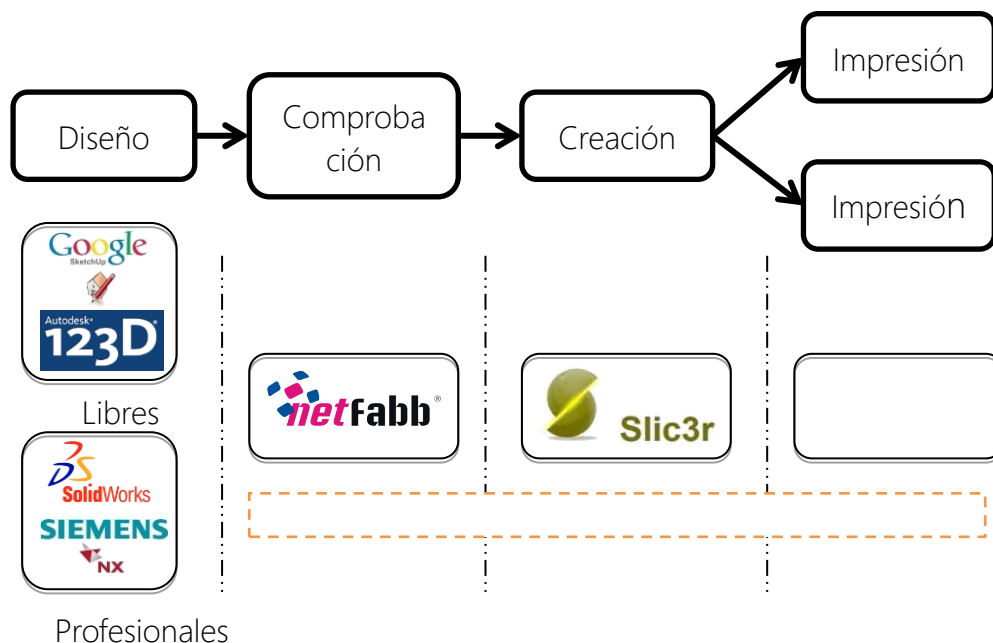


Ilustración 76: Flujo de trabajo para conseguir una impresión 3D a partir de un diseño CAD. Manual de Diseño para impresiones 3D. Fundació CIM.

Un archivo STL, como se puede ver en la *ilustración número 77*, no es más que un tipo de archivo con el que se interpreta la geometría del diseño realizado a partir de superficies cerradas en forma de triángulo, los cuales cuanto mayor cantidad de ellos haya y más pequeños sean más resolución tendrá la pieza y por tanto mejor acabado, siempre relacionado con el tiempo invertido en la impresión ya que si se aumenta su resolución también lo hará el tiempo de impresión.



Ilustración77: Explicación del trabajo de un archivo STL. Manual de Diseño para impresiones 3D. Fundación CIM.

A partir de un archivo "STL" y mediante programas como "Netfabb" se puede trabajar con la pieza diseñada realizando los últimos ajustes para adaptarla a los parámetros de la impresora. Mediante este archivo, se pueden hacer tareas como visualizar la pieza para ver si hay cualquier fallo en su diseño, reparar tanto el archivo en su totalidad como cualquier cara dañada, posicionar la pieza sobre la cama y ajustar su posición sobre la misma, escalar o incluso configurar sus parámetros. La orientación a la hora de imprimir es fundamental ya que en impresoras como la BCN3D+ donde se

trabaja sobre una plataforma en la parte inferior, a diferencia de máquinas como la "CARBON 3D" la parte ancha siempre debe ir en la parte inferior y servir como base ya que si no, si se construye sobre estructuras estrechas dado que el material tendrá baja consistencia en el momento de ser extruido se dará lugar a elementos frágiles y deformaciones

Una vez con el diseño ya preparado para ser impreso, aun en formato STL se necesita generar un G-CODE o un código de máquina capaz de ser interpretado por el "Arduino" y de esta manera marcar la dirección de los vectores, la temperatura de impresión, la velocidad, la altura de capa, la opacidad etc.

Este código se puede generar a partir de programas como "Slic3r". En este programa se le puede asignar una configuración estándar para cada tipología de pieza que se desee imprimir, son un ejemplo: SV, HQ, WALL, ST, STR, HS etc.

- SV: Configuración especial para elementos tipo envase no tiene "infil" (opacidad del interior), la pieza se va fabricando en espiral mejorando su superficie y acabado final.
- HQ: Configuración estándar para la mayoría de construcciones donde se desee una alta calidad, altura de capa de 0.1 mm.
- WALL: Configuración especial para piezas con geometrías muy "exóticas. En este caso se reduce la temperatura y la velocidad para mejorar los voladizos.
- ST: Configuración estándar para la mayoría de construcciones con una altura de capa de 0.2mm
- STR: Configuración para elementos destinados a soportar grandes esfuerzos mecánicos, en este caso se reduce la altura de capa a 0.15mm y el "infil" se realiza en forma de panel de abeja, todo esto para mejorar la adhesión entre capas.
- HS: Configuración para modelos que se deseen obtener de forma rápida, para estos se configura la capa a 0.25mm y se reduce el infil del 10 por ciento.

Una vez ya obtenido el G-code, se puede enviar a imprimir a partir de conexionado USB directamente con el PC o cargándolo en una tarjeta SD para su impresión desde la pantalla LCD. Como se ha podido ver, la impresión 3D simplifica en gran medida el trabajo en el sector de la rehabilitación ya que el uso de programas es sencillo y permite reproducir fielmente un objeto que en antaño y mediante sistemas tradicionales llevaría semanas de trabajo.

4.5. PROCESO PRÁCTICO DE LA IMPRESIÓN 3D

Una vez visto todo el potencial de la impresión 3D, se ha decidido traer de una forma práctica como sería la aplicación de esta tecnología para resolver un problema dentro del campo de la rehabilitación. Se plantea un escenario en el que se quiere substituir una maneta del interior de una vivienda la que actualmente se encuentra dañada y con imposibilidad de poder adquirir una nueva con las mismas medidas por encontrarse descatalogada. Se requiere una maneta con las mismas dimensiones y que se pueda acoplar a la puerta aprovechando la tornillería que ya hay instalada con tal de no substituir la puerta en su totalidad.

Con el objetivo de dar solución a esta situación y una explicación desde un punto de vista práctico del flujo de trabajo para llevar a cabo una impresión, se ha realizado una práctica utilizando la BCN3D+.



Ilustración 78: Maneta original a replicar. Foto realizada por alumno Ricard Naya Velasco

La maneta en cuestión es la mostrada en la *ilustración número 78*, se trata de una maneta que consta de dos tornillos pasantes en los que encastar tanto la maneta exterior como interior y a partir de dos pequeños tornillos de 4mm de grosor localizados en cada ala de las maneta presionarlos. No se trata de una maneta ni mucho menos compleja pero trae consigo un sistema de anclaje en el que si no se dispone de las mismas medidas y mismo sistema de agarre, la substitución será imposible y se debería substituir la puerta en su totalidad. El primer paso para reproducirla ha sido la toma de medidas y posteriormente el modelado de la pieza mediante PC. El programa que se ha utilizado ha sido "Solid Edge" por la razón de que al ser utilizado principalmente dentro del campo del diseño industrial permite una mayor precisión en cuanto a medidas y por tanto una precisión mayor en el momento de reproducir la pieza, como ya se ha comentado anteriormente, esta elección es totalmente libre por el usuario, la única restricción que limita el campo de selección es que es indispensable que el programa de diseño permita la exportación a archivo STL.

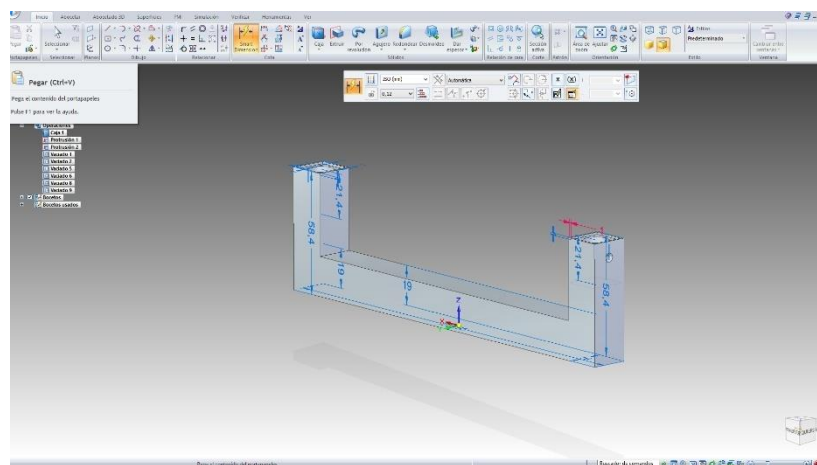


Ilustración 79: Proceso de modelado mediante "Solid Edge". Imagen tomada por el estudiante Ricard Naya.

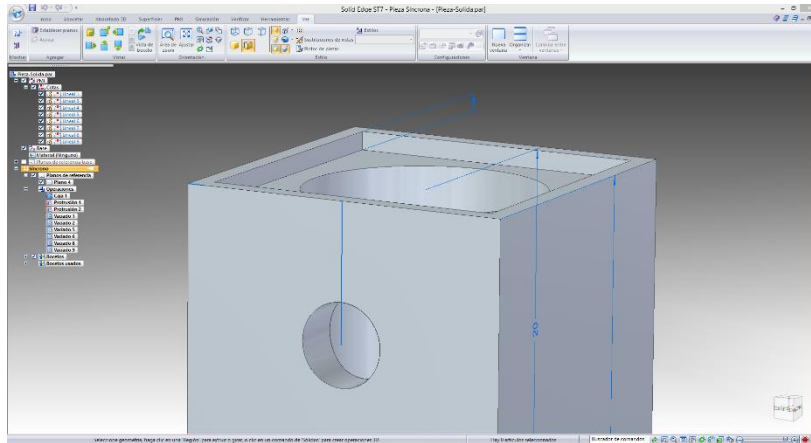


Ilustración 80: Proceso de modelado mediante "Solid Edge". Imagen tomada por el estudiante Ricard Naya.

Una vez modelada la pieza, el siguiente paso es exportarla a archivo STL. Con el archivo ya acabado, se introduce dentro del programa “NetFabb” con varias finalidades, una de ellas es comprobar si el modelado de la pieza trae consigo alguna cara dañada o algún fallo en su diseño, en este caso gracias a este programa se puede reparar. Por otro lado, en este programa con tal de ver como encajaría la pieza en la cama de trabajo, se establecen sus dimensiones, en este caso se trata de 250mm x 200mm x 200mm y se coloca la pieza en la orientación en la que se quiera imprimir.

A la hora de orientar la pieza, se tiene que tener en cuenta como esta será impresa. Por un lado, se tiene que considerar que se debe imprimir sobre una base firme por tanto siempre es conveniente orientar el objeto buscando un modelo “piramidal”, es decir partiendo de una base superior a una inferior ya que si no se hiciera de esta forma el peso del mismo objeto y la poca consistencia de la pieza cuando el plástico esta recién extruido puede llevar a caídas y fallos a la hora de obtener un producto de calidad. Por otro lado, un aspecto menos importante pero a tener en cuenta es el trazado de “tanteo” que realiza la máquina antes de proceder a la impresión del modelo en sí. Hay programas a diferencia de “NetFabb” como es el caso del “ColiDo Ibérica” que permiten rotar, reparar, analizar como es el trazado de impresión y finalmente exportar a Gcode tanto en “Slic3r” como en “Cura”. La opción de analizar el trazado de impresión permite preveer fallos a la hora de imprimir ya que se podrá ver el trazado que deberá realizar la máquina una vez el archivo este cargado en el sistema por tanto si esta no lo reproduce es que ha habido un error en la configuración del Gcode.

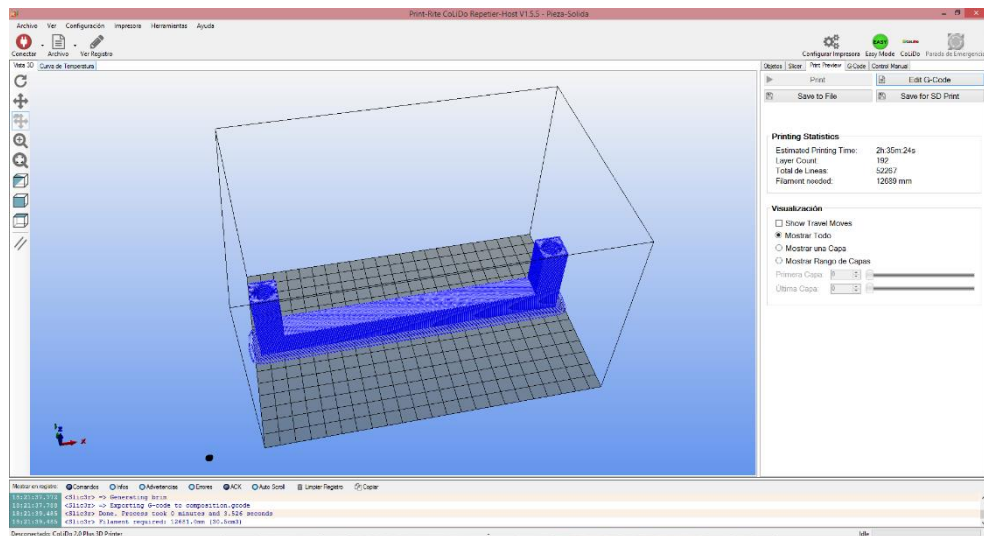


Ilustración 81: Comprobación del trazado de impresión mediante programa ColiDo Ibérica. Imagen tomada por el alumno Ricard Naya.

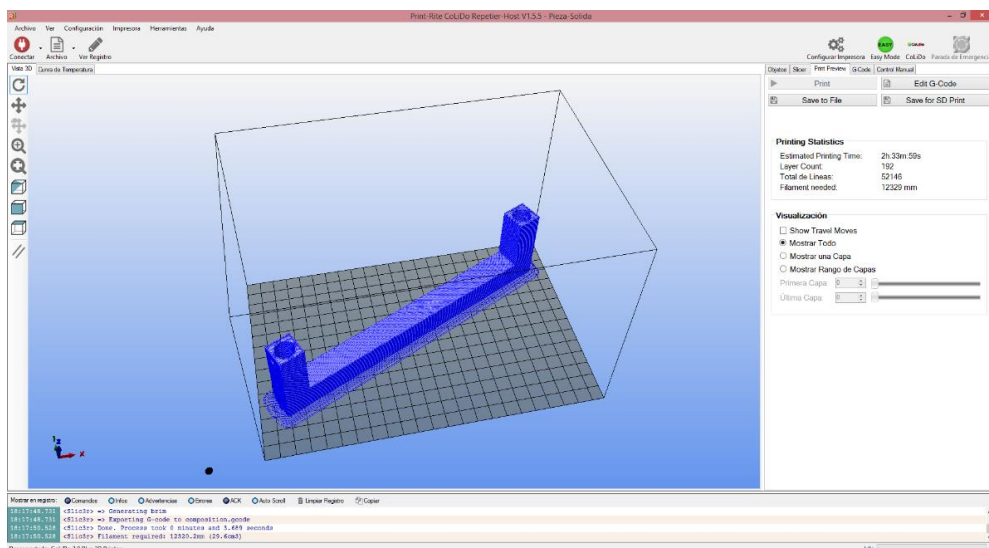


Ilustración 82: Comprobación del trazado de impresión mediante programa ColiDo Ibérica. Imagen tomada por el alumno Ricard Naya.

Como se puede ver en la *ilustración número 81*, dentro del programa “ColiDo Ibérica” en el caso de que la pieza fuese de mayor tamaño, el trazado de tanteo de la impresora se saldría de la plataforma de trabajo, por tanto en algunas ocasiones donde la pieza es demasiado grande para la cama de trabajo, la solución es tan sencilla como la rotación de la pieza tal y como se puede ver en la *ilustración número 82* hasta encontrar una posición en la que todo el material depositado se encuentre dentro de la plataforma de trabajo.

Continuando con el modelo real, una vez modificadas las dimensiones de la cama de trabajo y ubicada la pieza, dentro del programa “NetFabb”, se continúa exportando a archivo STL. Llegados a este punto ya se tiene una pieza en perfectas condiciones para poder ser impresa por tanto ya sea mediante “Cura” o “Slic3r” se exporta a formato Gcode.

En este caso, esta conversión se ha realizado a partir de Slic3r, no hay ningún tipo de preferencia, es más, el programa Cura es de descara gratuita por la misma Fundació Cim y cuenta con una interfaz más sencilla e intuitiva para primeras impresiones, pero el haber tenido contacto previamente con Slic3r ha hecho decantar la balanza hacia este programa.

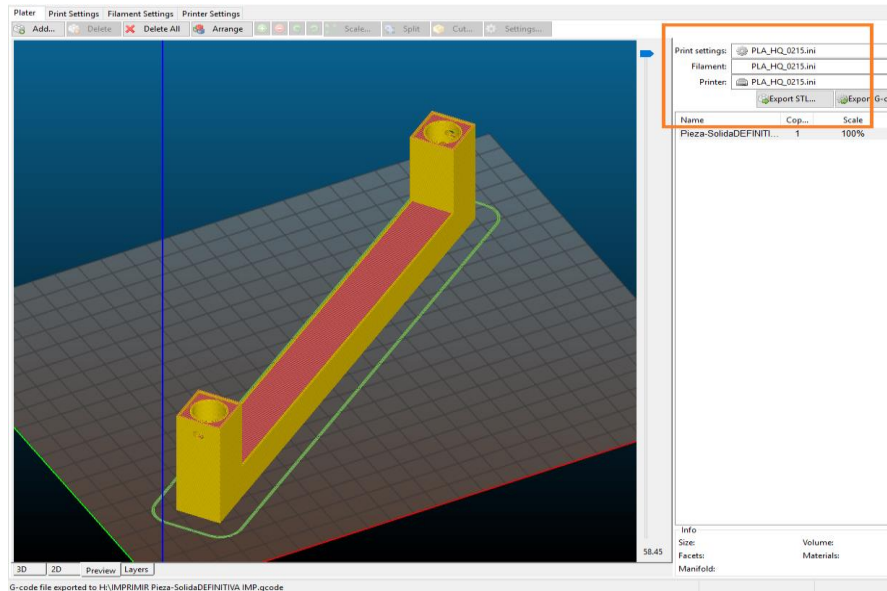


Ilustración 83: Conversión a archivo GCode mediante Slic3r. Imagen tomada por el alumno Ricard Naya.

Aunque se hayan modificado las dimensiones de la cama de trabajo a la hora de trabajar en "Netfabb", este ajuste respondía únicamente a una comprobación de cómo iba a estar la pieza ubicada en la cama de trabajo, a diferencia de entonces, en este momento es necesario para poder definir un espacio de trabajo para la impresora. Es importante conocer exactamente con que elementos se está trabajando, el grosor del filamento, con que material se va a imprimir, el diámetro del extrusor etc... ya que estos campos deben ser rellenos en el programa. Por otro lado, es el momento de modificar parámetros de impresión como la altura de capa, el "infil" del modelo o el origen de coordenadas. Estos pueden ser modificados por el usuario libremente o por el contrario se pueden cargar configuraciones ya establecidas, estas configuraciones responden a los modelos de impresión comentados en el flujo de trabajo (SV, HQ, WALL, ST, STR, HS) con los ajustes que ya traen ellos consigo.

Para esta práctica se han realizado 2 modelos, una réplica en HS, la tipología de impresión que trabaja con la configuración de trazado más estándar y posteriormente, una réplica en HQ, logrando un incremento en cuanto a calidad y densidad reduciendo la altura de capa y con un "infil" en forma "romboidal".

- MODELO HS

Mediante esta configuración, la altura de capa se amplía a 0.25mm y el infil interior del modelo se reduce al 10%, de esta manera se sacrifican prestaciones mecánicas y calidad en objetivo de ganar una impresión rápida. Debido a esto se aprecian fallos e incoherencias entre capas dando lugar a desviaciones que como resultado derivan en una réplica parecida pero no exacta.

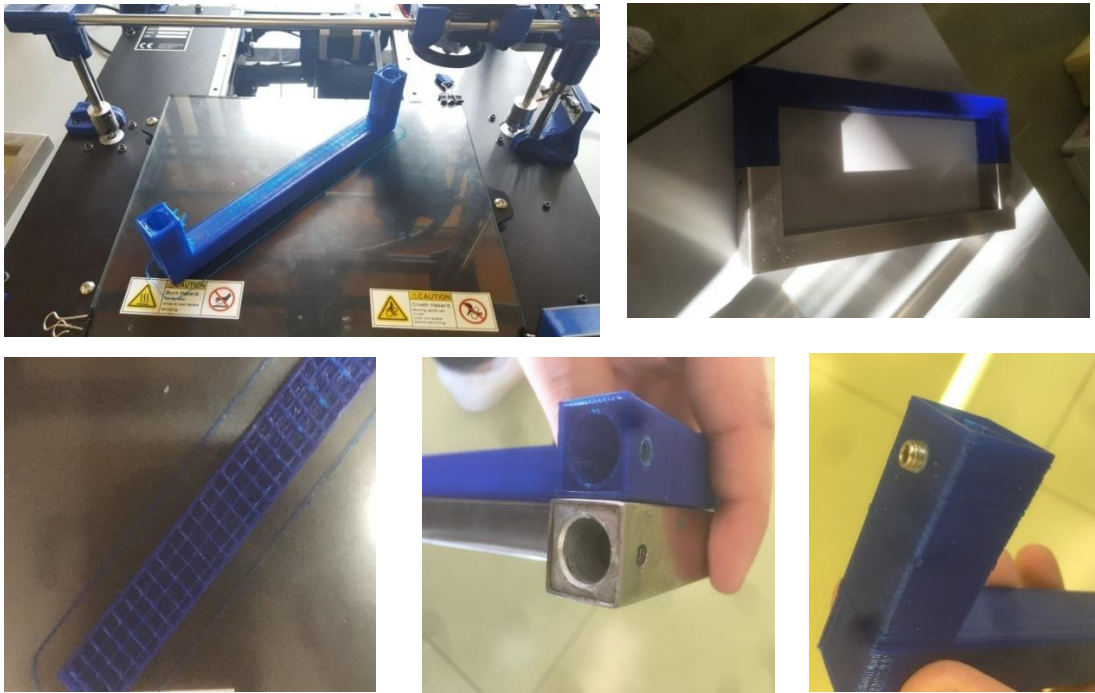


Ilustración 84: Modelo de maneta realizado con configuración HS. Imágenes tomadas por el alumno Ricard Naya.

- MODELO HQ

En este caso, la altura de capa se reduce a 0.1mm y el infil del modelo se amplía al 20%, de esta manera se gana en cohesión entre capas reduciendo al máximo las desviaciones entre las mismas. Este aumento de calidad viene directamente relacionado con un aumento del tiempo de impresión pero tal y como se puede ver en el modelo, el acabado es mucho mayor en comparación con la configuración HS

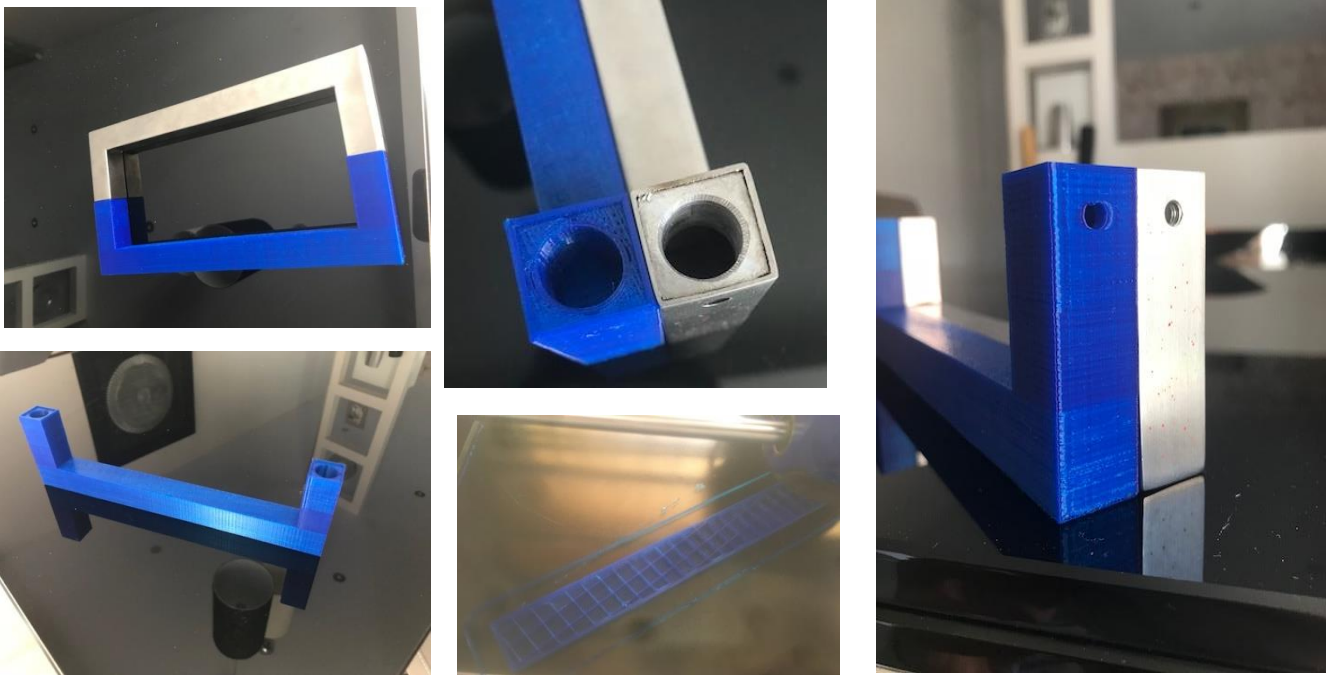


Ilustración 85: Modelo de maneta realizado con configuración HQ. Imágenes tomadas por el alumno Ricard Naya.

CAP 5. CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES FINALES DEL TRABAJO

A partir de todo el proceso de investigación el cual ha englobado tutoriales, documentos técnicos, estudios económicos, manuales, charlas de entendidos en la materia etc. Se ha logrado comprender en su totalidad como es el funcionamiento de este tipo de máquinas, cuáles son sus elementos, sus mecanismos, donde son problemáticas y donde residen sus virtudes, superando con creces las expectativas en cuanto a posibilidades y aplicaciones en el mercado que se tenían al iniciar el presente trabajo. Todo este proceso de investigación, ha ayudado a poder concluir que la impresión 3D es el futuro, es un hecho, una realidad y sobretodo una necesidad para crecer económicamente como sociedad. En el resto de sectores como la medicina, aeronáutica o automovilismo ha causado una revolución sin comparación, reduciendo en costes, reduciendo en tiempos y ganando en calidades y libertad de diseño. Por contra parte, en el sector de la construcción el avance actual de este tipo de tecnologías donde a pesar de los esperanzadores datos arrojados por empresas como "ApisCor" es complicado integrar esta tecnología con normalidad ya que se trata de una tecnología en crecimiento que actualmente como se ha visto con la "APIS COR 3D Printer" puede ser viable para algunas pequeñas construcciones en lugares remotos donde se requiera una construcción rápida, ligera, funcional e económica pero inviable para dar respuesta a las necesidades de las ciudades con una tendencia a crecer verticalmente a causa de la masificación de las mismas. Los sistemas de impresión que existen hoy en día a excepción de algunos como el "CLIP" traen consigo una gran cantidad de inconvenientes por los que se concluye que la impresión 3D aun necesita un crecimiento para llegar a ser competitiva y poder entrar de lleno en este sector. Esto es debido a que se trata de

una tecnología en la que el único procedimiento para llevar a cabo viviendas a pequeña escala es mediante sistemas parecidos a la deposición fundida, con los problemas en cuanto a resistencias de tracción que este modelo de impresión trae consigo, este hecho provoca que juntamente con la imposibilidad o dificultad de poder imprimir cimientos profundos de la misma forma que se puede hacer hoy en día mediante procesos estandarizados y totalmente controlados sea imposible la construcción de edificios altos, o de poder construir en terrenos con problemas de consistencia, este hecho provoca que sus posibilidades de ser atractiva para el sector sean limitadas.

Actualmente y a la espera de la modernización de las máquinas y sistemas de impresión, la realidad es que la impresión 3D debe de entrar en el sector y debe hacerse fuerte primeramente en el campo de la rehabilitación ya que de la misma forma que en los otros sectores a partir de máquinas pequeñas se pueden obtener grandes productos. Hoy en día mediante diseño informático una impresora sencilla y domestica como es la BCN3D+ puede significar grandes cambios dentro del campo de la rehabilitación ya que se podrían resolver problemas y situaciones ante las que el mercado no tiene solución ya sea reproducir elementos ornamentales en cuestión de horas, con todo lujo de detalles y sin causar ningún impacto en la pieza original como eliminar el concepto de Stock para los industriales del sector, reduciendo en costes internos o reducir enormemente el coste en transportes ya que la mayoría de productos podrían ser enviados vía online y ser impresos por un particular en una vivienda, despacho o caseta de obra. Por otro lado, la libertad que esta tecnología ofrece es su principal punto a favor ya que elimina por completo las barreras que tiene el mercado actual limitando las posibilidades y soluciones ante problemas cotidianos a las capacidades imaginativas del diseñador.

La realidad más importante es que todo este cambio debe estar promovido por políticas socio-económicas ya que aunque todo esto sea una realidad económicamente hablando la mayoría de la población en países como España no conoce absolutamente nada de esta tecnología por tanto es imposible que sin titulados, sin formación, es decir sin profesionales que dominen estas máquinas, los programas de diseño y con un amplio conocimiento en materiales, esta tecnología llegue a ser un sistema funcional y realmente aplicable.

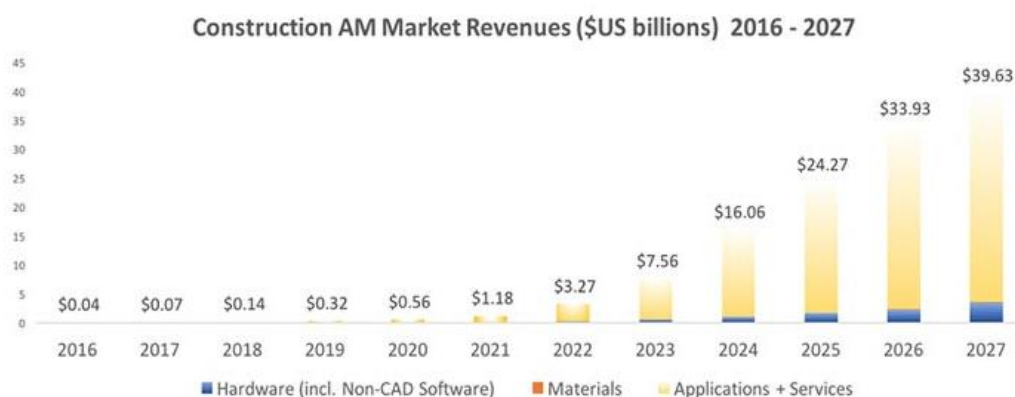


Ilustración 86: Valoración del crecimiento económico de la impresión 3D en el sector de la construcción en los próximos 10 años. Smarttech publishing.

El crecimiento económico de la impresión 3D ha sido valorado en un artículo por la empresa Estadounidense "SmartTech Publishing", empresa líder en análisis de mercado y proveedora de productos de impresión 3D. Esta empresa estima que el valor del impacto de esta tecnología en el sector de la construcción será de 40 billones de dólares en 2027 donde el reparto de esta cantidad estará dividida en 150 millones en materiales, 3.5 billones en maquinaria, 36 billones en aplicaciones informáticas en las que se espera un crecimiento anual de 4 billones de dólares anualmente. Es decir, el cambio está presente y las empresas se han dado cuenta de ello por tanto la conclusión que se destacaría del presente trabajo es la de que toda empresa que haya tenido éxito en los últimos años, fracasará en el mercado si no implementa estas tecnologías en su organigrama de producción en un plazo de 10 años aproximadamente.

5.2. BIBLIOGRAFÍA

- Manuel Navarro R. (2016), *La nueva era del mercado de impresión*, Revista Byte IT. Vol. 241, 20-24.
- Alejandra Sandoval C. (2012) *Tipos de stock en el marco empresarial*, Ponencia realizada por el centro de desarrollo agroespacial de Chía. Bogotá.
- J. A. Ruiz, J. L. Morato y J. Gaitán. (2015), *Logística comercial*. Editorial McGraw-Hill. ISBN: 8448199316
- Joan Escrivá M, Vicente Savall y Alicia Martinez. *Gestión de compras* [En línea] Madrid. MacGraw-Hill, 2012. ISBN 978-84-481-3960-7, Revisado por Aurea Campos V, Ana Maria Hervas E. [Consulta 20/02/2018] Disponible en <<https://mghlibros.distriforma.es/>>.
- Amazon Aws. *Gestión de stock*. [En línea] [Consulta 20/02/2018] Disponible en <<http://spain-s3-mhe-prod.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/bcv/guide/capitulo/8448199316.pdf>>.
- UB. Modelo de producción "Just In Time" (Marzo 2002) 1a Edición. A: UB. *Universidad de Barcelona* [En línea]. Barcelona, UB. [Consulta 14/02/2018]. Disponible en <http://www.ub.edu/gidea/recursos/casseat/JIT_concepte_carac.pdf>.
- CESCE. (2017). Informe sectorial de la economía Española en el sector de la construcción. Disponible en <<https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2017/09/Informe-Sectorial-CESCE-CONSTRUCCI%C3%93N.pdf>>
- Oliver Scalabre. the next manufacturing revolution is here. *TED Institute event given in partnership with BCG Consulting about the manufacturing improvement*. Mayo 2016, TEDX Institute. Paris.
- Augie Picado, the real reason manufacturing jobs are disappearing. *TED Institute event given in partnership with UPS about the cooperation between traditional jobs and innovation*. Julio 2017, TEDX Institute. México.
- Joseph deSimone, What if 3D printing was 100x faster?. *TED Institute event given in partnership with Carbon 3D about the new Carbon 3D's project*. Marzo 2015, TEDX Institute.
- ApisCor. *Aerated concrete block and 3D printing: Technology perspectives*. (Enero 2012). Apis Corcompany.
- ApisCor. How works the ApisCor 3D printer ?. 2012. ApisCor Company.

- American Society for Testing and Materials (ASTM) group. ASTM F42 – Additive Manufacturing. . (2012). Estudio disponible en la en la Loughborough University. ASTM F2792-12a. Disponible en <<http://web.mit.edu/2.810/www/files/readings/AdditiveManufacturingTerminology.pdf>>
- S. Kalpakjian& S. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* [En línea].5a Edición, Editorial Prentice Hall en 2008, ISBN 978-970-26-1026-7, Disponible en <http://www.academia.edu/22528886/Manufactura_Ingenier%C3%ADa_y_Tecnolog%C3%ADa_5ta_Edici%C3%B3n_-_S._Kalpakjian_and_S._Schmid>.
- Rafael Infante M, A. Proceso de conformado de materiales poliméricos por prototipado rápido [En línea]. Trabajo final de máster, UNED. Departamento de Ingeniería de Construcción y fabricación. 2012 [Consulta el 10/11/2017] Disponible en: <<https://tfmrimuned.files.wordpress.com/2012/03/tfm-uned-procesos-de-conformado-de-materiales-polim%C3%A9ricos-por-prototipado-r%C3%A1pido3.pdf>>
- Alba Sánchez. "¿Cómo surgió el mundo de la impresión 3D? Impresión antes de RepRap" Artículo Online en la página Diwo [En línea]; Diciembre de 2012 [Consulta el 20/11/2017] Disponible en <<http://diwo.bq.com/impresion-3d-historia/>>.
- Raúl Diosdado, Manuales de construcción, componentes y electrónica de la Impresión 3D. Manuales de construcción publicados en la pagina Online ZonaMaker. [En línea]. [Consulta el 20/01/2018] Disponible en <<https://www.zonamaker.com/electronica/intro-electronica/componentes/101-impresion-3d/crea-tu-impresora-3d>>.
- James Manyika & Richard Dobbs, Study of "*Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*" [En línea] Standfordd, Published by Mckensey And Company, Mayo 2013, [Consulta el 17/02/2018] Disponible en <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/Disruptive%20technologies/MGI_Disruptive_technologies_Full_report_May2013.ashx>.
- David Sanchez J. *Fotogrametría de objetos cercanos para la rehabilitación ornamental de edificios*. [En línea]Valencia, Editora Universidad Politécnica de Valencia, Octubre de 2015, [Consulta el 05/03/2018]. Disponible en<<http://ocs.editorial.upv.es/index.php/ASC/ASC15/paper/viewFile/2027/1198>>.
- Equipo de BCN3D Technologies, *Manual de impresión mediante BCN3D+*.
- RepRap BCN. (2014). *BCN3D+ user manual*. Fundació CIM.
- Equipo de BCN3D Technologies (2014). *Manuales BCN3D+ Assambly Guide "Z Axis Assambly", "X Assambly & Extruder", "Screen & Electronics", "Wirings", Spood Mount"*.

5. 3. AGRADECIMIENTOS

Después de un intenso período de muchos meses, más de los que habría imaginado en un principio, hoy es el día, escribo este apartado de agradecimientos para finalizar mi trabajo de fin de grado y con el que decir que ha sido un período de aprendizaje intenso y realmente muy gratificante, no solo en el campo científico sino también a nivel personal ya que por lo que a mí respecta como estudiante he podido entrar en otros campos como el de la electrónica, mecánica y informática, campos un tanto desconocido para mí hasta la inmersión en el presente trabajo, demostrando que con trabajo y empeño se puede aprender de todos los campos.

Escribir este trabajo ha significado una "montaña rusa" de sensaciones, pasando de menos a más a medida que pasaban los meses y se iban conociendo los avances tecnológicos ocultos a la vista de la gente ajena a este campo pero sorprendentes cuando se empieza a sumergir en él. Inicialmente, dado que es una tecnología desconocida por la mayoría de personas, incluso por mi parte al iniciar el trabajo, la mayoría de datos o pruebas de impresión únicamente arrojaban datos poco convincentes, en los que la velocidad de impresión podía llegar a resultar un hecho frustrante y es por eso que me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado durante este proceso.

Primero de todo, me gustaría agradecer a mis profesores y tutores de trabajo, tanto a Vicenç Gibert como a Verónica Royano ya que en esos momentos donde se perdía cierto grado de interés en la investigación por los datos obtenidos me han ayudado a centrarme en las oportunidades de futuro de esta tecnología y no únicamente en la imagen inicial o datos superficiales. Gracias a ellos, se ha podido investigar a fondo y poder concluir que de la misma forma que todas las tecnologías que hoy en día han cambiado a la sociedad, existen dificultades al comienzo pero debido a las mejoras a pasos agigantados que se están llevando a cabo, se trata de una tecnología que originará cambios inimaginables en todos los aspectos del día a día.

Por otro lado agradecer a mis familiares por sus sabios consejos y su comprensión apoyándome día a día a acabar el trabajo sin más demora y finalmente a mis amigos, quienes me han ayudado con consejos, ayudas en cuanto a informática, mecánica y electrónica, haciendo el proceso de comprensión de estas tecnologías un trabajo mucho más ameno e interesante.

Muchas gracias a todos.